גיליון מס׳ 20 | יולי 2013

אודיסאה

| מסע בין רעיונות |

ואולי לא היו הדברים

הפיזיקאי ד״ר זוהר קומרגודסקי על המציאות כפשרה סטטיסטית

- האם רכישת השפה מוּלדת או נלמדת? פולמוס בין בלשנים
- שאלת אודיסאה: איזה רעיון לדעתך אינו זוכה להכרה מספקת?

מיסודה ובתמיכתה של

מה בגיליון

בשוליה של מחברת ישנה מצאתי הערה שכתב פעם מורי מימי התיכון, ד״ר אברהם טוביאס, וזו לשונה: ״אמר פעם היינה, הידע משול לבלון – ככל שהוא גדל מתרבות נקודות המגע שלו עם האינסוף״. נזכרתי בהערה הזו כשהופיע על הדסקטופ מאמרו של **ד״ר זוהר קומרגודסקי**. קומרגודסקי, 28, פיזיקאי בתחום החלקיקים האלמנטריים, מותיר ספק אם יש לדברים איזה טעם, שכן לטענתו, ברזולוציה גדולה (מאוד), מה אנחנו אם לא מראית־עין סטטיסטית של מופע קוונטי קצר. על רקע מחשבות נוגות אלה הרוויות עצב קיומי, שב ומתלהט (בעמוד 24) הוויכוח הבלשני על דרך רכישת השפה ומחזיר את הסומק ללחיים. האם יכולתם המופלאה של ילדים לרכוש שפה היא תכונה מולדת או נלמדת? הפרדיגמה השלטת כיום בעולם הבלשנות, בהובלת פרופ׳ נועם חומסקי, קובעת כי הכללים הבסיסיים ביותר בתהליך הזה טבועים במוחנו טרם לידה. בשנים האחרונות גוברת הביקורת על העמדה הזו. מאמריהם של **ד״ר ענבל ארנון** ו**פרופ׳ שולי וינטנר** (שוללי החומסקיאניות) ושל **פרופ׳ עידן לנדו** (הפרו־חומסקיאני) מציגים את עיקרי הפולמוס. בהקשר זה של שפה מציע **ד״ר עופר פיינרמן**, פיזיקאי של מערכות מורכבות, להסיט את המבט לקרן זווית ולהאזין לשפת הנמלים שפותחה ב־150 מיליון השנים האחרונות. לדבריו, אפשר ללמוד מהנמלים משהו על ארגון חברתי ועל תקשורת בעידן הרשתות החברתיות.

עוד בגיליון: **ד״ר בינה קליסקי**, חוקרת בתחום הננוטכנולוגיה, מציגה את עולם המדידות הזעירות שאותו היא חוקרת. כתבנו המשוטט **עודד כרמלי**, שיצא למקסם את יכולתו השכלית, מדווח על התוצאות לאחר ביקור במעבדותיהם של חוקרי מוח. הארכיאולוג **פרופ׳ רפי גרינברג** מתאר את פרידת הארכיאולוגיה הישראלית מהרומנטיקה הקולוניאלית המערבית. חוקר בקרת הנשק **ד״ר איתן ברק** מפריך את מיתוס הנשק הכימי כמסוכן מאחיו הקונבנציונלי. הסינולוג **פרופ׳ יצחק שיחור** טוען שהתקווה המערבית לדמוקרטיזציה בסין נובעת מחוסר הבנה תרבותית. הזואולוג **ד״ר אבי ארבל** מתאר את בעלי החיים והצמחים שמתדפקים על דלתנו כמהגרי עבודה שנתקלים לעתים באותו יחס קסנופובי. ההיסטוריון **ד״ר אלי שאלתיאל** כותב על ביוגרפיה חדשה של רוברט אופנהיימר, והמאיירת **דניאלה לונדון־דקל** בוחרת תשעה מקורות השראה אישיים בהחלט. את הגיליון פותחת כתמיד **שאלת אודיסאה**, והפעם – איזה רעיון, לדעתך, אינו זוכה להכרה מספקת. אל הרהט.

אבנר אברהמי

אודיסאה

| מסע בין רעיונות |

שאלת אודיסאה: איזה רעיון, לדעתך, אינו זוכה להכרה מספקת?
פרופ׳ דוד הראל, פרופ׳ אהוד גזית, פרופ׳ עדית זרטל, פרופ׳ חוה יבלונקה, פרופ׳ יוסף אגסי, פרופ׳ אילנה גוזס,
פרופ׳ אריה ארנון, דרור בורשטיין, פרופ׳ אורן הרמן, פרופ׳ אריאל נובופלנסקי, משיבים | **עמ׳ 06**

012

ד״ר זוהר קומרגודסקי

פיזיקאי בתחום הפיזיקה של החלקיקים, חוקר בכיר במכון ויצמן וחבר במוסד ללימודים מתקדמים של אוניברסיטת פרינסטון. בן 28, גדל באשדוד, בוגר החוג לפיזיקה־מתמטיקה באוניברסיטת תל אביב, בעל תואר דוקטור ממכון ויצמן, חתן פרס "New horizons in Physics, 2012" וזוכה ב־Gribov Medal. בגיליון זה חיבר את **...ואולי**, על הספק הקוונטי שבקיומנו הריאלי.

020

ד״ר בינה קליסקי

חוקרת במחלקה לפיזיקה ובמרכז לננו־טכנולוגיה באוניברסיטת בר אילן, את הפוסט־דוקטורט עשתה באוניברסיטת סטנפורד שם התמחתה במדידות מגנטיות רגישות. מתמקדת בפיתוח חיישנים מגנטיים לוקאליים בעלי רגישות מגנטית גבוהה במסגרת חקר מוליכות־העל, מגנטיות וביו־מגנטיות. את מחקרה מתארת במאמר – **מדידות זעירות, מהפכה גדולה**.

024

ד״ר ענבל ארנון

בלשנית ופסיכולוגית התפתחותית באוניברסיטה העברית, מתמקדת ברכישת שפה ראשונה, בתיאוריית למידה, בפסיכו־בלשנות ובהבדלים שבין רכישת שפה ראשונה לשנייה. מוסמכת אוניברסיטת אדינבורו, בעלת דוקטורט בבלשנות מאוניברסיטת סטנפורד. בגיליון זה, עם פרופ׳ וינטנר כצד א׳ בפולמוס הבלשני, שותפה לטענה ש**השפה נלמדת**.

024

פרופ׳ שולי וינטנר

ראש החוג למדעי המחשב באוניברסיטת חיפה, עוסק בבלשנות חישובית ובעיבוד שפות טבעיות, מתמקד בדקדוקים פורמליים, במורפולוגיה, בתחביר, בהכנת משאבי לשון ובגישות חישוביות לתרגום. בגיליון זה, כצד א׳ בפולמוס הבלשני, חיבר עם ד״ר ענבל ארנון את המאמר האנטי חומסקיאני – **השפה נלמדת** (ולא מוּלדת).

032

פרופ׳ עידן לנדו

מלמד וחוקר בחוג לספרויות זרות ובלשנות באוניברסיטת בן גוריון, את הדוקטורט בבלשנות קיבל ב־1999 ב־MIT, תחומי המחקר שלו כוללים תחביר השוואתי וממשקי התחביר עם הפונולוגיה, והלקסיקון והרכיב הסמנטי בדקדוק. פרסם שלושה ספרים וכ־30 מאמרים. כצד ב׳ בפולמוס הבלשני, תומך בתיאוריה החומסקיאנית ובמאמרו בגיליון זה טוען – **השפה מולדת**.

040

ד״ר עופר פיינרמן

חבר סגל במחלקה לפיזיקה של מערכות מורכבות במכון ויצמן, חוקר התנהגות חברתית של נמלים, את הדוקטורט עשה במכון ויצמן בחקר מדעי המוח, את הפוסט־דוקטורט בבית החולים "סלואן קטרינג" בניו יורק והמשיך באוניברסיטת רוקפלר בנושא חרקים חברתיים. בגיליון זה חיבר את **רשות הנמלים**, מאמר המתאר את התקשורת המורכבת בתוככי קן הנמלים, המתפקד לעתים כסופר־אורגניזם

048

פרופ׳ רפי גרינברג

פרופסור לארכיאולוגיה באוניברסיטת תל־אביב, מתמקד בראשית התהוות התרבויות העירוניות באזורנו, בהגירות קדומות ובמגעים בין־תרבותיים, וכן במשמעויות של הארכיאולוגיה בהווה, במיוחד בעיר מגוריו, ירושלים. בגיליון זה כתב את **פרידה ממחוזות הסְפָר**, מאמר המתאר את השינוי שעובר על הארכיאולוגיה הישראלית ספוגת הרומנטיקה הקולוניאלית המערבית.

056

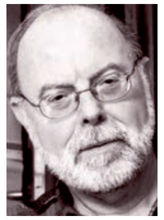
עודד כרמלי

משורר ופובליציסט, עורך כתב העת הספרותי־מדעי "הבה להבא", ספר שיריו האחרון "ליקום אין אופוזיציה", ראה אור ב־2010, כותב ב"טיים אאוט" וב"מוסף הארץ". בגיליון זה יצא להרחיב את יכולתו השכלית במעבדה של חוקרי מוח באוניברסיטת בר אילן וחיבר עם שובו את **אפגרייד למוח**, רפורטז׳ה חווייתית.

062

ד״ר איתן ברק

חוקר במחלקה ליחסים בינלאומיים באוניברסיטה העברית, השתלם בהרווארד בבקרת נשק להשמדה המונית בכלל ונשק כימי בפרט, עוסק במשטרי ביטחון, בקרה ופירוק נשק. בגיליון זה כתב את המאמר **מיתוס הנשק הכימי** שעוקב אחר הגדרתו המופרכת של אמצעי לחימה זה כ"נשק יום הדין", שהפעלתו מחייבת התערבות צבאית בינלאומית.



070

פרופ׳ יצחק שיחור

פרופסור אמריטוס בלימודי אסיה ובמדע המדינה מאוניברסיטת חיפה ומהאוניברסיטה העברית, בעל תואר ד״ר מבית הספר לכלכלה ולמדעי המדינה מאוניברסיטת לונדון, עוסק בסין, מתמקד ביחסים בין סין למיעוט האויגורי שבתחומה (טורקים סונים) וכן בתהליכי דמוקרטיזציה במזרח אסיה. בגיליון זה כתב את **דמוקרטיה בסינית**, מאמר הטוען שהתביעה לדמוקרטיזציה בסין בנוסח המערבי נשענת על חוסר הבנה תרבותית.

080

ד״ר אבי ארבל

זואולוג, בעל תואר דוקטור לזואולוגיה מאוניברסיטת תל אביב, מרצה בכיר באוניברסיטאות באר שבע, תל אביב והטכניון, עורך המגזין "טבע וארץ", בעבר עורך "טבע הדברים", פרסם עשרה ספרים. בגיליון זה כתב את המאמר **הטבע המתדפק על דלתנו**, המתאר את הגירתם לארץ של בעלי חיים וצמחים. יש כאלה, הוא אומר, שממהרים לשסות בהם את משטרת ההגירה.

018

דניאלה לונדון־דקל

מאיירת, קריקטוריסטית, תסריטאית, מחברת ספרי קומיקס, יוצרת סדרת הטלוויזיה "יום האם" ובעלת "עמוד הבית" במוסף השבת של "ידיעות אחרונות". במסגרת המדור **מקור השראה** בוחרת תשע יצירות שהשפיעו על חייה. עמ׳ 18 (ועוד).

מערכת: עורך: אבנר אברהמי | **עורך משנה:** אסף שטול־טראורינג | **עורכת אחראית:** אילה מילר | **ועדה מייעצת:** עילם גרוס, אורלי שנקר, ליאו קורי, יאיר זרמי, חנוך גוטפרוינד, דני גוטוויין | **עריכה:** שירה אביעד | **עיצוב:** אורנה אושרי | **צילום השער:** גטי אימג׳ס
הנהלה: יו״ר: אילה מילר | **מפיקה ומנהלת הפצה:** איריס חייט | **דפוס:** ידיעות אחרונות | **מוציאים לאור:** "אודיסאה – מסע בין רעיונות", מיסודה של חברת "טבע" © כל הזכויות שמורות | **כתובת לפניות:** ת״ד 15055 רחובות 76150, odyssey@odyssey.org.il

"אודיסאה – מסע בין רעיונות": כתב־עת העוסק במחשבות, רעיונות, דילמות וויכוחים המתקיימים בחזית העשייה המדעית והפילוסופיה העכשווית. כתב־העת מכוון ליצירת חיבור בין מדע לחברה ובין רעיונות לתוצאותיהם ולמשמעותם. חברת "טבע" מוציאה לאור את "אודיסאה" כחלק מפעילותה לקידום המדע והתרבות בישראל

רוצים לעשות מנוי?
03־9411621
052־9993111
www.odyssey.org.il

איזה רעיון או תיאוריה אינם זוכים, לדעתך, להכרה מספקת

?

מידול אורגניזם שלם

פרופ' דוד הראל, מדען מחשב ממכון ויצמן למדע, חתן פרס ישראל לשנת 2004

זה שנים שקיים חיבור מרתק בין מדעי החיים לבין מתמטיקה ומדעי המחשב, ובמידת מה גם לפיזיקה. תגליות חשובות ביותר יוצאות ממעבדותיהם של חוקרים בביו־אינפורמטיקה ובביולוגיה מערכתית, שם בונים מודלים מתמטיים/אלגוריתמיים של תופעות ואלמנטים ביולוגיים, ואת התוצאות של הרצה חישובית של המודל וניתוחו המתמטי מאששים על ידי ניסויי מעבדה מתאימים. הגישה הזאת עונה היטב על הצורך במציאת תשובות לשאלות ספציפיות, אך כשיש רצון להבין מערכות טבעיות גדולות, ללא התרכזות בעניין ספציפי או בשאלה ספציפית, היא די מוגבלת.

רעיון שהועלה ונדון כבר מ־2002 קורא לבניית מודל ממוחשב מלא לחיה שלמה, דהיינו לאורגניזם רב־תאי. דוגמה טובה היא התולעת C. elegans, אשר לה כאלף תאים. המודל נדרש להיות בר־הרצה, אינטראקטיבי וגמיש בהצגת רמות הפירוט שלו. הוא גם נדרש להיות ריאליסטי, כלומר להציג באנימציה ברורה ודומה למקור, כהווייתו, את האורגניזם, הן בהתפתחות והן בהתנהלות יומיומית. אך החשוב מכול הוא יכולתו של המודל לרוץ אל נכון בנסיבות כלשהן. כך יוכל המשתמש "לשחק" עם המודל כרצונו, והקריטריון לנכונות המודל דומה לזה של מבחן טיורינג לאינטליגנציה מלאכותית, דהיינו, שההתנהגות של המודל תהיה כה טובה ואמינה, עד כי באופן עקרוני אי אפשר יהיה להבחין בין המודל לאורגניזם האמיתי. קשה להגזים בחשיבות של מודל כוללני שכזה, אם וכאשר ייבנה. התובנות שינבעו מתוך הרצתו וניתוחו, ולאחר מכן מהאישוש במעבדה, יוכלו להיות משמעותיות ומהפכניות לא רק להבנתנו את מהות החיים, אלא גם להבנת מנגנוני מחלה, למשל, ולפיתוח תרופות.

סיווג האדם לפי חיידקיו

פרופ' אהוד גזית, מופקד על הקתדרה לביוטכנולוגיה של מחלות נוירודגנרטיביות באוניברסיטת תל אביב והמדען הראשי במשרד המדע

אחד הנושאים המרתקים בביולוגיה המודרנית עוסק בתפקידה של המערכת האקולוגית המיקרו־אורגניזמית בגוף ובהשפעתה על תכונותינו. בעוד התורשה הגנטית מובנת למדי, הרי שמבחר התכונות הגנטיות של אוכלוסיית טריליוני החיידקים, ארכאה, שמרים ועוד (בשם כולל microbiome) שאנו נושאים והשפעתן על בריאותנו ואף על תכונות האישיות שלנו, עדיין בגדר תעלומה.

במחקר פורץ דרך שפורסם ב־Nature במאי 2011 חולקה האוכלוסייה האנושית לשלושה סוגים (enterotypes) בהתאם לאוכלוסיית החיידקים במערכת העיכול. החלוקה אינה קשורה לגיל, למין, למוצא האתני, למצב הבריאותי או למיקום הגיאוגרפי. במידה רבה סיווג הקבוצות אנלוגי לחלוקה לסוגי הדם. החלוקה מאוד גסה וראשונית, וככל הנראה התמונה מורכבת בהרבה. מוצע כי למערכת האקולוגית האינדיבידואלית השפעה מהותית על הבריאות הכללית, על תוחלת החיים, על תגובה לתרופות, על נטייה להשמנה ועוד. ההשפעה יכולה להיות על תכונות האישיות ואף על הפרעות נפשיות כדיכאון, אוטיזם והפרעות חרדה. יחד עם זאת, כיום אין כל התייחסות לסיווג המטא־גנומי האינדיבידואלי (ביטוי המתאר את כלל הגנים כולל המיקרוביאליים) בעת טיפול רפואי. על אף שהתיאוריה הוצגה על ידי חתן פרס נובל יהושע לדרברג כבר לפני עשרות שנים, המייחסים השפעה של אוכלוסיית המיקרואורגניזמים על תכונות בריאותיות, ובעיקר פסיכיאטריות, נתקלים בספקנות ואף בזלזול של הקהילה הרפואית. הספקנות מזכירה את ההתייחסות הראשונית לתפקיד החיידק הליקובקטר פילורי באולקוס ובסרטן הקיבה: מה שהתחיל כתיאוריה מדעית אזוטרית הוא כיום הבסיס למזור למיליוני חולים והוכר במתן פרס נובל ב־2005.

אפשרות של אבולוציה אחרת

פרופ' חוה יבלונקה, פרופסור להיסטוריה ופילוסופיה של הביולוגיה
במכון כהן, אוניברסיטת תל אביב

בתחום העיסוק שלי, אבולוציה, יש כמה מוסכמות עיקשות באשר לאופיה של התורשה ושל התהליך האבולוציוני. הגישה הדומיננטית, אשר מופיעה עדיין בספרי הלימוד באבולוציה ואשר התגבשה באמצע המאה העשרים, היא כי הגנים לבדם הם יחידות התורשה הביולוגית, כי "החומר התורשתי" שממנו מורכבים הגנים הוא הדנ"א, וכי השינויים התורשתיים מתרחשים באופן שאינו תלוי במה שקרה לפרט במהלך חייו. מכאן נובע כי האבולוציה היא תוצאת השינויים האקראיים שחלים בדנ"א, והברירה הטבעית היא התהליך היחיד שיכול להסביר את ההתאמות המופלאות של איברים לתפקידיהם ושל יצורים לסביבתם.

במהלך עשרים השנה האחרונות חלה הרחבה ניכרת בהבנתנו את התורשה: ממצאים רבים ומתרבים של חוקרים צעירים – ביניהם גם ישראלים לא מעטים – מראים כי יש מערכות תורשה נוספות למערכת הדנ"א, כי מערכות אלה מגיבות לשינויים המתרחשים במהלך חיי הפרט, כי יש מנגנונים מתוחכמים המאפשרים תחזיות "מושכלות" של תנאים עתידיים, וכי קיימת תורשה רב־דורית של שינויים כאלה. כיון שממצאים אלה תומכים באפשרות של אבולוציה למרקיסטית, תיאוריה שנחשבה למינות והבל גמור מאז אמצע המאה העשרים, יש ניסיון נמרץ בקרב חוקרי האבולוציה מהדור הישן להמעיט בחשיבות הממצאים החדשים הללו, ובעיקר להטיל ספק במשמעותם האבולוציונית. נראה שבמקרה זה, כמו ברבים אחרים, יש ליציאה לגמלאות תפקיד חשוב בקידום חידושים מדעיים.

אל מעבר ל"עצמי"

פרופ' אורן הרמן, היסטוריון של המדע, ראש התוכנית למדע,
טכנולוגיה וחברה באוניברסיטת בר אילן

מטפורות טבועות עמוק בשפה. יש מעט מאוד דברים בעלי חשיבות שאפשר לומר מבלי להשתמש במטפורה. זה נכון עבור שירה וסיפורת, ושפה יומיומית כמובן, אבל גם עבור המדע. ואולי המטפורה המרכזית, והחבויה, בחיינו היא ה"עצמי". בלי ה"עצמי" אין מערכת משפט, כך נדמה לנו, כי אין על מי להטיל אחריות, ואין מערכת בריאות כי אין פציינט, ואין תרבות ואין חינוך ואין פוליטיקה – לפחות לא כמו אלה שאנו מכירים. אבל מטפורת ה"עצמי" המדעית, שאותה אנחנו סוחבים כמה מאות שנים, נושאת מחיר: היא דורשת שנסביר רמות ארגון גבוהות באמצעות האלמנטים ה"נמוכים" המרכיבים אותן.

אלא שהביולוגיה של ימינו מלמדת אותנו, אם רק נקשיב לה, שה"עצמי" איננו אובייקט, אלא תהליך של אינטגרציה של גנים וחלבונים ותאים ורקמות ומערכות שבהם אין "גבוה" ו"נמוך", אלא רק אינטראקציה מתמדת. אם ההוויה היא תהליך, ולא אובייקט, אין טעם לחפש מקום במוח שבו שוכן אותו "עצמי" נכסף. יחד עם זאת אין גם טעם לחשוש שללא מטפורת ה"עצמי" החברה מתפרקת: המוסדות התרבותיים שלנו לא מחייבים שהאבולוציה יצרה אותנו בדמות אובייקט פיזי; הם ימשיכו להתקיים בסדר גמור גם אם יתברר שאנחנו בעצם תהליך לכיד ומשולב בעל מאפיינים של סוכן. דקארט כתב "אני חושב משמע אני קיים", אבל לו הכיר ביולוגיה מודרנית היה מתקן ל"חשיבה, לכן קיום". גם זו מטפורה, בעלת הטיות משלה. אם נשכיל להבינה, נוכל להגן על עצמנו מפני סכנות רבות לבוא.

na
(house)

nal
(place)

nik
(flower)

pakal
(shield)

sabak
(ink)

sotz'
(bat)

k'al
(twenty)

k'awil
(spirit)

k'in
(sun)

k'u, k'ul
(sacred, god)

k'uk'
(quetzal)

kun
(seat, center)

יכולות ההתאמה המופלאות של צמחים

פרופ' אריאל נובופלנסקי, מחלקת מטרני לחקר המדבר באוניברסיטת בן גוריון

מהות ההתאמה של יצורים לסביבתם נעוצה ביכולתם להתקיים ולהתרבות בתנאים שבהם הם חיים. אולם לקיומן של התאמות לכל מצב אפשרי במהלך החיים צפוי להיות מחיר תפקודי גבוה ביותר, שכן התאמות לתנאים נתונים מפחיתות בדרך כלל את רמת התפקוד בתנאים אחרים. בני אדם פותרים אתגרים כאלה באמצעות התנהגות, זיכרון, תקשורת וטכנולוגיה, שמושתתים על קיומו של מוח גדול ומשוכלל. כלים ויכולות אלה מאפשרים לנו להתכונן לאתגרים צפויים, להשתמש בכלים מוגדרי–משימה ולהימנע מהשקעה מיותרת באמצעים לא נחוצים. עד לתקופה האחרונה ההנחה הרווחת הייתה כי יכולות כאלה קיימות אך ורק ביצורים מורכבים ותבוניים, אולם מחקרים שנערכים בשנים האחרונות מצביעים על קיום התאמות דומות גם ביצורים "פשוטים" ועתיקים בהרבה. למשל, חיידקים חסרי מוח מסוגלים לצאת להתקפה מתואמת על הפונדקאי שלהם שלא הייתה צולחת ללא תקשורת משוכללת; צמחים סכלים אך רעבים מסוגלים, בתמורה לתשלום נאות, לקבל שירותי איסוף והספקה של מזון מפטריות שחיות בקרקע, שבהינתן אותות כימיים מהצמח יוצרות רשת ענפה של קורים המספקת לצמח שפע מינרלים יקרי מציאות; בהינתן אותות לנוכחות שכנים מכינים צמחים רבים את עצמם לתחרות עתידית על אור, למרות שתחרות כזו עדיין לא החלה; לנוכח קיומם של סימנים ראשונים למצוקת יובש אפשרית בעתיד, מכינים עצמם צמחים ליובש חמור ומפיצים אותות מצוקה שנקלטים על ידי שכניהם – שמתכוננים גם הם ליובש למרות שעדיין לא חוו אותו בעצמם.

ככל שאנו מעמיקים, אנו מוצאים דוגמאות ליצורים פשוטים לכאורה שלא רק מסוגלים לאסוף מידע מסביבתם, משכניהם, מאויביהם הטבעיים ומשותפיהם לצרות שונות, אלא גם לבצע הערכות מצב מורכבות, ללמוד ולזכור חוויות מעברם וליישם אותן בעתיד באופנים שמשפרים את ביצועיהם, הן במהלך שארית חייהם והן בשיפור סיכויי צאצאיהם להתמודד עם אתגרי העתיד הרחוק יותר. נעשה בחוכמה אם נעצב את עתידנו על סמך לימוד יכולותיהם המדהימות של יצורים פשוטים, פותים וחסרי מוח שכאלה, להתאים את עצמם באופן פעיל למצבים עתידיים.

הדחיפה הכלכלית הגדולה

פרופ' יוסף אגסי, פילוסוף, אוניברסיטת תל אביב

הרעיון הנשכח החשוב ביותר כרגע הוא רעיון הדחיפה הגדולה (big push) של הכלכלן הנשכח פאול רוזנשטיין־רודן (Paul Rosenstein-Rodan). לחץ ההגירה מארצות עניות לעשירות אינו ניתן לבלימה וגורם למדיניות קיצונית למרות המסורות הליברליות, ובכך לסיכון שלום האנושות. חובה לפרסם כי המלחמה בעוני היא האינטרס של העשירים גם כן. כמו כן חובה להכיר בעובדה כי ניסיונות להתגבר על עוני בעזרת תמיכת ממשלות של ארצות עשירות נכשלו חרוצות. עוד בזמן המלחמה העולמית השנייה כתב רוזנשטיין־רודן כי נדרש לעודד השקעה פרטית בארצות עניות, בעיקר באלה העשירות במחצבים. המרתיע את בעלי ההון להשקיע בארצות עניות הוא העדר תשתיות בהן (תחבורה, תקשורת, וחינוך). על כן יש להשקיע בבניין תשתיות, ומיד. וכמובן, תחילת עבודת בנייה מסיבית תוריד את לחץ ההגירה באופן ניכר.

מי יהיה המשקיע ומניין יילקח הון העתק הנדרש לשם כך? תשובתו המקורית של רוזנשטיין־רודן עודה תופסת: נדרשת רשות כלל־עולמית ונדרש כי היא תטיל מס הכנסה גבוה מאוד על ממשלות עשירות ועל תאגידים בינלאומיים. דבר זה נשמע הזוי, שכן הוא מותנה בהסכמת ממשלות עשירות, ונראה כי זו רחוקה מתמיד. רוזנשטיין־רודן טוען שמאחר שאין מוצא אחר מהבעיה הבוערת הזו, במוקדם או במאוחר ההסכמה תבוא. יש לקוות כי היא תבוא לא מאוחר מדי.

הקיום כמהלך אוניברסלי

דרור בורשטיין, סופר

נראה לי שהעובדה שכל אטום בגופנו היה פעם חלק מכוכב היא עובדה שראוי ללמד לילדים קטנים ביחד עם האלף־בית, ואולי לפני כן. תפיסת היקום והקיום כמהלך גדול, אוניברסלי במלוא מובן המילה, של מחזור, כלומר של הופעה והיעלמות של צורות כמו גלים באוקיינוס (המים כל הזמן נוכחים; רק הגלים מופיעים לרגע ונעלמים) – שונה מאוד מתפיסת הקיום המובנת מאליה לרובנו, של קיום מבודד ועצמאי בתוך גבולות העור והזהות האישית. אם לתת רק דוגמה אחת, הפחמן, שהוא אחד היסודות ההכרחיים ביותר לחיים כפי שאנו מכירים אותם, הוא יסוד שלא היה בנמצא ביקום עם המפץ הגדול. הוא "בושל" בתוך כוכבים (שמורכבים בעיקר ממימן ומהליום) ונזרק לחלל בשלב מאוחר בהרבה. ללא הכוכבים המתפוצצים הללו לא היינו קיימים בצורתנו הנוכחית. לא היו לנו, למשל, עצמות ושיניים. אגב, גם חוד העיפרון שבעזרתו אני כותב את הדברים האלה לא היה קיים בלי הכוכבים. כן, יש כוכבים בקצות עפרונותינו.

לידיעה על הזיקה הגופנית בינינו לבין היקום יכולות להיות השלכות תודעתיות מרחיקות לכת. מבט בשמי הלילה יהיה, לאור ההכרה הזו, מבט במשהו שהוא לא פחות "עצמך" מאשר כף ידך. ואולי ההבנה הזו תוביל כמה אנשים (אני חושב על ילדים, בעיקר על ילדים) למחשבה על זיקות קרובות יותר, שקיומם תלוי בהן; גם זיקות אנושיות. החיבור בין עובדה אסטרונומית לאתיקה אישית אינו, כמובן, מחויב המציאות, אבל הוא בגדר הזמנה למחשבה שהשלכותיה יכולות להיות מרחיקות לכת.

הכשלים המבניים של הקפיטליזם

פרופ׳ אריה ארנון, כלכלן באוניברסיטת בן גוריון

תיאוריה שאינה זוכה לדיון של ממש, במיוחד בתחום שבו אני עוסק – היסטוריה של המחשבה הכלכלית – נוגעת לטענה כי בשיטה הקפיטליסטית קיימים כשלים מבניים. הרעיון כיכב בדיון האינטלקטואלי במאה התשע עשרה ובחלק ניכר של המאה העשרים. אך משנות השמונים של המאה העשרים ועד למיתון הארוך שהחל ב־2007־2008 הרעיון נדחק לשוליים. עד כדי כך נדחק הרעיון לשולי הדיון האקדמי והחוץ אקדמי, שעצם הדיון במושג קפיטליזם תואר כריק מתוכן במחשבה הכלכלית ההגמונית. גם בחמש השנים האחרונות "השכילו" רוב הוגי המחשבה השלטת להתעלם מהמסקנות העולות מהמשבר העולמי הנוכחי על החשיבה הכלכלית המקובלת.

אחד ההסברים לדחיקתו של הרעיון הביקורתי הזה, המטיל ספק באופטימליות הקיימת כביכול בשיטה הקפיטליסטית, פונה אל סיפור עלייתה של התיאוריה הניאו־ליברלית. זו מניחה – או בעיניה שלה, מוכיחה – שהשיטה הקפיטליסטית אופטימלית, כלומר מביאה למירב הטוב למירב הציבור; או בניסוחיה, מביאה למירב הצמיחה ואפילו למירב הצדק החלוקתי. השקפה זו ינקה את כוחה ממאבק רב שנים, מתועד וממומן היטב, שהובילו הוגים שנאספו סביב האסכולה האוסטרית בכלכלה, ובראשה פרידריך פ ון האייק, ורשת בינלאומית של "צוותי חשיבה" (Think Tanks) שהקים האייק סביב מרכז שכונה ה־Mont Pelerin Society. הביקורות על הקפיטליזם, זו הרדיקלית, פרי רוחו של מרקס וזו שהחלה בקיינס ובטענתו כי השיטה אינה מווסתת את עצמה ונחוצה התערבות מקרו־כלכלית מכוונת, נדחקו לשוליים. חידוש הביקורת על השיטה הקפיטליסטית ראוי לדיון מחודש ואינטנסיבי – ודאי לנוכח המשבר בכלכלה העולמית.

הבנאליות המבעיתה של הרוע

פרופ׳ עדית זרטל, היסטוריונית חוקרת, אוניברסיטת באזל

בעוד שחנה ארנדט זוכה כיום להכרה מאוחרת, אי אפשר שלא לתהות למה המונח "בנאליות של הרוע", שטבעה ביחס לאדולף אייכמן בדו"ח שכתבה על משפטו בירושלים, וכן מונחים נוספים ופרספקטיבות חדשות שהנכיחה במחשבה הפוליטית של שישים השנה האחרונות, עוררו שערוריות עצומות והפכו אותה עצמה למטרה של מסעות נידוי וחרם עיקשים ונמשכים. מה חשף המושג "בנאליות של הרוע" אצל קוראי ארנדט, וגם אצל מי שלא קראו אותה ונסחפו עם הפאניקה ועם הרוע שהדריכו את רודפיה, ואיזה מודחק, אלביתי (ה־unheimliche הפרוידיאני), הוא העלה והציף בהם? האם היה זה אקט עקירתו מן הקודש וחילונו של הרוע הנאצי שהיה מגולם במושג, וכן ההכרה בכוחו האפידמי של הרוע הזה ובכך שאיש אינו מחוסן מפניו? האם התובנה המרעישה בדבר רגילותם, בנאליותם ו"אנושיותם" של רוב מבצעי הפשעים הקולוסאליים האלה, ובדבר בנאליותם של שיטות ייצורם ואופני יישומם של הפשעים, אין־ספור פעולות ומעשים שגרתיים שביצעו אותם אנשים רגילים, נורמליים, במסגרת של מערכת ביורוקרטית עצומה ומסועפת, שגם הרוע הקיצוני ביותר נגרס בתוכה למיליוני פריטים זעירים, ביורוקרטיים? האם היות הרוע הזה "תרבותי", משוכלל, אירופי, צאצא של הנאורות, מתקדם ובר־התפשטות, שאינו זקוק אלא לאידיאולוגיה חובקת־כול ומאפשרת־כול של אקסקלוסיביות ונבחרות, ולמספר גדול דיו של אנשים "מהוגנים", אזרחים צייתנים ושומרי חוק שיעמידו את ה"הן" האוטומטי, האנונימי, של הביורוקרט לרשות רוע כזה כדי לאפשרו?

ואפשר שיותר מכול דבר אחר מה שפורע את הסדר של המובן מאליו ומה שמחריד ומשבש את דעתם של קוראים רבים של ארנדט הוא דווקא פרדיגמת הסרבנות המובנית בעומק דיונה בסוכן הבנאלי אייכמן של הרוע האבסולוטי, והמתנסחת בגלוי בדפים האחרונים של הספר "אייכמן בירושלים" בדמות סרבן המצפון, הסרג'נט הגרמני אנטון שמידט, שבגד במדינתו, בחוק ארצו, בצבאו, בחבריו ליחידה, ונחלץ לסייע ליהודים הנרדפים ביערות ליטא, עד שנתפס והוצא להורג, והפך את ה"לא" הסרבני הזוהר שלו לביטוי ראשון במעלה, אם לא הביטוי היחיד האפשרי, של האנושיות.

כיוון נוסף למלחמה באלצהיימר

פרופ׳ אילנה גוזס, ראש מרכז־על אדמס לחקר המוח, אוניברסיטת תל אביב

כשמדברים על מחלת אלצהיימר, המחלה שהמאפיין הראשוני שלה הוא אובדן הזיכרון לטווח קצר, מדברים על שתי פתולוגיות חלבוניות: ביטא עמילואיד plaques ו־neurofibrillary tangles. הפתולוגיה הראשונה בנויה מהחלבון הקצר ביטא עמילואיד, והשנייה מהחלבון טאו. מדברים פחות על החלבון העיקרי במוח שאליו נקשר טאו – חלבון הטובולין, מלשון צינור (tube). בתאים בריאים יוצרות תת יחידות של החלבון טובולין צינוריות מאורגנות להפליא המשמשות לשימור מבנה תא העצב ולהולכת חומרים בתוך תא העצב, בעל השלוחות הארוכות החיוניות ליצירת קשרים בין־תאיים. מחקרים קליניים הראו שלא מספיק לעכב את הפתולוגיה של העמילואיד ושל טאו כדי להביא מזור לחולי אלצהיימר. רוב המחקרים נערכו אמנם על העמילואיד, אך נראה שאולי כדאית השערת פעולה חדשה: חיזוק צינוריות הטובולין הנקראות מיקרוטובולי. יש מדענים שעובדים על כך, אך כדאי לחשוב לעומק ולעבוד יותר בתחום זה. התוצאות שלנו מראות שמקטע קצר מהחלבון החיוני activity-dependent neuroprotective protein מגן על הצינוריות ועוזר לתפקודן התקין, וכך שומר על תפקודי מוח תקינים ועל חיוניות תאי מוח. הקשר בין צינוריות ההולכה לתהליכי זיכרון, למידה והתנהגות תקינה מעניין ומאתגר, ומומלץ לשנות כיוון ולשמור על תקינות המערכת במקום לנתץ פתולוגיה כמו הפתולוגיה של העמילואיד או של הטאו. מאידך, במחלות השונות ייתכנו מנגנונים שונים ויש לנסות ולהבין את הדומה ואת השונה בהבאת מזור עתידי. ✕

...ואולי

יכולת מדידה מוגבלת גורמת לאדם להתפשר על הבנה ממוצעת של תופעות יסוד בעולם הסובב אותו. אפילו האוויר והמים אינם מוכרים, אלא סטטיסטית בלבד, שלא לדבר על החלקיקים האלמנטריים. ביום שבו יתברר שגם הזמן אינו תופעת יסוד, אלא ממוצע של משהו, נבין שאולי לא היו הדברים מעולם

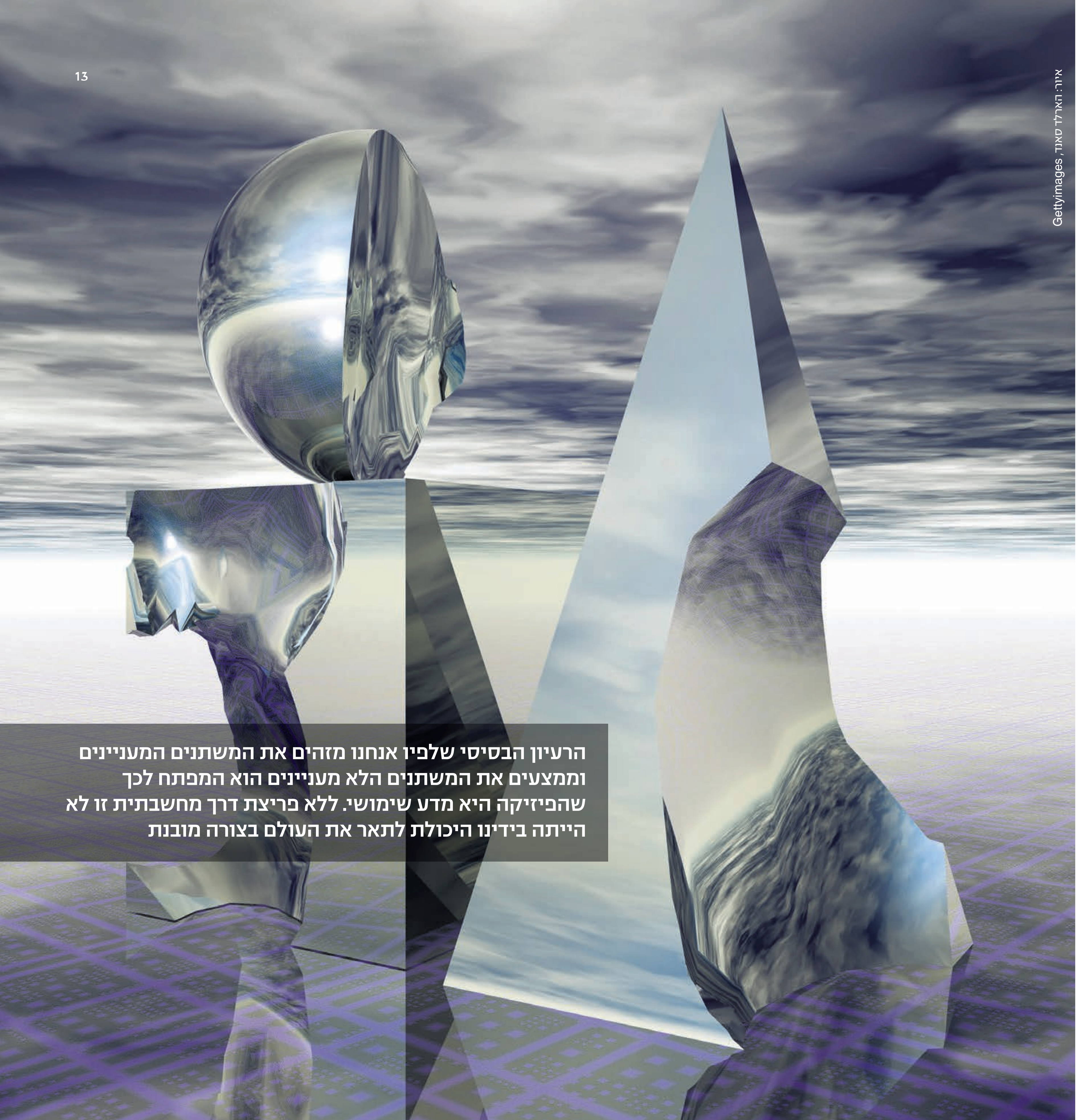
ד"ר זוהר קומרגודסקי

כמותו ואיכותו של הידע המדעי שהצטבר במאות השנים האחרונות קשות לעיכול. כיום אנו יכולים לתאר תופעות טבע מרהיבות שמתרחשות בתוך גרעין האטום, ומנגד יש בידינו הבנה מרשימה ביותר של תופעות שקורות על סקאלות של גלקסיות רבות. במאמר זה ננסה להבין מדוע זכינו באתנה שכזו ולאן מועדות פנינו. כמובן, קוצר היריעה אינו מאפשר לנו לסקור את כל ההיבטים של נושא המאמר, אלא רק פרקים נבחרים.

כבר מראשית ימיה חתרה הפיזיקה להבין את אבני הבניין של הטבע. במחשבה הקלאסית נפוצו האלמנטים אדמה, מים, אוויר, אש ולפעמים גם אלמנט חמישי, מופשט יותר (Quintessence). אלמנטים אלה הרכיבו את כל שאר הגופים הקיימים ונחשבו יסודיים, בלתי פריקים. היווני דמוקריטוס טבע את המונח "אטום", כלומר גוף בלתי פריק שמרכיב את החומר. החיפוש אחר אבני הבניין של הטבע הוא חלק בלתי נפרד מההוויה האנושית והוא נמשך עד עצם היום הזה. האם בסוף הדרך מחכה הפתעה שיהיה קשה להתמודד מולה?

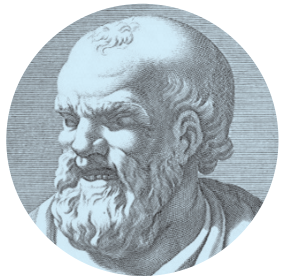
כבר במאות ה־18 וה־19 היה ברור למדענים כי חומרים במצב צבירה גזי ניתנים לאפיון מדויק על ידי מדידת הטמפרטורה שלהם, הלחץ שלהם, הנפח שלהם ועוד כמה משתנים "מיקרוסקופיים" מהסוג הזה. המשתנים האלה לא לגמרי בלתי תלויים. מערכת הקשרים בין המשתנים הללו מתומצתת במשוואות התרמודינמיקה. התרמודינמיקה היא מדע שימושי להפליא, המתאר את התכונות המיקרוסקופיות של חומרים רבים, מעברים ממצב צבירה אחד למשנהו וכו'.

כיום אנחנו "חכמים" בהרבה, ובפרט אנחנו יודעים שבמכל גז טיפוסי יהיו מיליארדי מיליארדים של אטומים ומולקולות. גם האטומים אינם, כידוע, חלקיקים אלמנטריים, אלא ישנם חלקיקים קטנים בהרבה כגון קווארקים, אלקטרונים ופוזיטרונים.



הרעיון הבסיסי שלפיו אנחנו מזהים את המשתנים המעניינים וממצעים את המשתנים הלא מעניינים הוא המפתח לכך שהפיזיקה היא מדע שימושי. ללא פריצת דרך מחשבתית זו לא הייתה בידינו היכולת לתאר את העולם בצורה מובנת

איור: הארלד סאנד, Gettyimages



דמוקריטוס. טבע את המונח "אטום"

רתרפורד. גילה את גרעין האטום

זמולודצ'יקוב. ממובילי הפיזיקה העיונית היום

חלק מהמולקולות הללו ינועו במהירויות מדהימות של אלפי קילומטרים בשנייה וחלק ינועו לאיטן. המולקולות נתקלות זו בזו ובדופנות המכל ללא הרף, מחליפות אנרגיה ומשנות את כיוון תנועתן. אם כך, על מנת לתאר גז במכל יצטרך המדען החרוץ והדקדקן להשתמש במיליארדי מיליארדים של משתנים, העוקבים אחר כל מולקולה בכל רגע, ואפילו בהינתן המחשבים החזקים בעולם כיום, משימה כזו אינה בת ביצוע.

בהינתן מולקולה בודדת, אין שום משמעות בהגדרת הטמפרטורה או הלחץ שלה. הטמפרטורה היא אובייקט השאול מעולם המקרו, ואינו קיים בעולם המיקרו. אם בידינו הרבה מולקולות המהוות גוף מיקרוסקופי אחד, אנו יכולים למדוד את הטמפרטורה שלו, למשל

אין אפשרות או משמעות בייחוס טמפרטורה למולקולה בודדת. אם כך, הטמפרטורה אינה מושג אלמנטרי בעולם הפיזיקלי, אלא מושג מקורב, שקיים רק בגבול האידיאלי של מערכות גדולות

במדחום. אין אפשרות או משמעות בייחוס טמפרטורה למולקולה בודדת. אם כך, הטמפרטורה אינה מושג אלמנטרי בעולם הפיזיקלי, אלא מושג מקורב, שקיים רק בגבול האידיאלי של מערכות גדולות.

אולם מדוע רשאים אנו להחליף את התיאור "האמיתי" של הגז (כלומר מיליארדי מיליארדים של משוואות) בפחות מתריסר משתנים ובסט של משוואות אלמנטריות הקושרות משתנים אלה? זוהי אחת השאלות הכי עמוקות בפיזיקה, אשר בגרסאות שונות ומשונות חוזרת ונשנית לאורך השנים בהקשרים שונים (אנו נראה מספר דוגמאות נוספות בהמשך). לאמיתו של דבר, חלק גדול מהשאלות שנמצאות בחזית המחקר היום אינן שונות בבסיסן מהבעיה שתוארה לעיל עבור תיאוריית הגזים.

רבים וטובים עבדו על היבטים שונים של תצרף זה, למשל דניאל ברנולי, לודוויג בולצמן, ג'יימס קלרק מקסוול, אלברט איינשטיין ואחרים. הרעיון העמוק שעומד בבסיס פתרון החידה הוא שאל לנו להיות חמדנים ולנסות לאסוף יותר מדי מידע על הגז. הרי אין עניין אמיתי במצבה של כל פרודה בגז בכל רגע נתון. אפילו אם היה לנו מידע שכזה, קשה לדמיין לאיזו מטרה היינו משתמשים בו. רוב המולקולות בגז נעות מהר, מתנגשות באופן תדיר ורוקדות את ריקודן הבלתי פוסק. על מנת לאסוף מידע על כל פרודה בגז בדיוק שמניח את הדעת, אנו חייבים למדוד את כל המולקולות בכל שבריר שנייה (כיוון שהן נעות מהר) והרזולוציה של מכשיר המדידה שלנו חייבת להיות כזאת שנוכל להפריד בין מולקולות שכנות. מובן שאין זה פרקטי. לכן אנו נאלצים להתפשר ולעקוב רק אחר התכונות של הגז שניתן למדוד באופן מיקרוסקופי, כלומר על סקאלות זמן ארוכות ועל מרחקים ארוכים (יחסית). הווה אומר, בלשון מתמטית, אנחנו פונים לתהליך המיצוע, כאשר אנחנו ממצעים גם בזמן וגם במרחב.

קחו דוגמה: במקום לחשוב על הגז כמורכב ממולקולות רבות שנעות ונדות אפשר פשוט לחשוב על מספר המולקולות הממוצע באזור כלשהו במרחב. בלאו הכי זהו הגודל המדיד היחיד.

באופן כללי, מבחינה מתמטית, אין זה מיידי או פשוט לבצע תהליך שקלול על מיליארדי מיליארדים של משוואות. ישנו מקרה אחד יוצא דופן בפשטותו, שבו המיצוע הוא כל כך פשוט שאפשר ללמד אותו תלמיד תיכון (מחונן), והוא "גז חופשי", או "גז אידיאלי".

א

בבסיסו טוען רעיון המיצוע שאם הכוחות ההדדיים בין המולקולות קטנים, אזי אין כמעט קורלציות בין התנהגות של מולקולות שונות. במקרה זה תקף חוק המספרים הגדולים מתחום הסטטיסטיקה וההסתברות. בתיאור גס, חוק המספרים הגדולים אומר כי בהינתן מספר גדול של משתנים אקראיים ובלתי תלויים (כאן נכנסת ההנחה שהמולקולות אינן באות באינטראקציה רבה זו עם זו), אזי הממוצע של כל המשתנים האלה מתנהג "נורמלית", כלומר על פי ההתפלגות

ברנולי, איינשטיין ובולצמן. החליפו את "התיאור האמיתי" בסט משוואות אלמנטריות

המוכרת של פעמון גאוס. התפלגות הפעמון מופיעה בהרבה מאוד הקשרים מפני שהיא מתארת תופעות טבע שתלויות במשתנים אקראיים רבים ובלתי תלויים (מסיבה זו נצפה שהתפלגויות כמו אלה שמתארות את גובהם של בני האדם או את האינטליגנציה שלהם יהיו פחות או יותר דומות, ושתיהן ינהגו בהתאם להתפלגות הפעמון ההוא).

בשימוש בחוק המספרים הגדולים עבור גזים אידיאליים אנחנו באמת מסוגלים להדגים כיצד התרמודינמיקה נגזרת מתוך התיאור המיקרוסקופי לאחר מיצוע של מספר רב מאוד של משתנים.

כיוון שבתנאים מתאימים גזים רבים אכן מתנהגים כגזים אידיאליים (או שאינם רחוקים מגזים אידיאליים), התיאור התרמודינמי נותן תוצאות מרשימות ביותר מבחינה ניסיונית.

הענף המדעי שתכליתו להבין כיצד תהליך המיצוע הזה עובד באופן כללי ומה ניתן לומר על מערכות אשר אינן ניתנות לפתרון באמצעות חוק המספרים הגדולים נקרא "פיזיקה סטטיסטית", אשר כשמה כן היא – עוסקת במערכות עם כמויות עצומות של משתנים ומנסה לפתח כלים על מנת לתאר את ההתנהגויות הממוצעות של מערכות אלה על סקאלות זמן ומרחב ארוכות.

הצלחה מדהימה נוספת של הרעיון הבסיסי של הפיזיקה הסטטיסטית היא בתיאור זרימת נוזלים. הרעיון ודאי יישמע מוכר כעת. בזרימת מים, למשל, הדקדקן יתעקש לעקוב אחר כל מולקולת מים ויאפיין את הזרימה על ידי מתן המיקום והמהירות שלה בכל רגע.

אל לנו להיות חמדנים ולנסות לאסוף יותר מדי מידע על הגז. הרי אין עניין אמיתי במצבה של כל פרודה בגז בכל רגע נתון. אפילו אם היה לנו מידע שכזה, קשה לדמיין לאיזו מטרה היינו משתמשים בו

הגזים האידיאליים ותיאוריית הנוזלים הם שתי דוגמאות שובות לב לאופן שבו האי ידיעה שלנו לגבי מה שקורה לחלקיקים שמרכיבים את הגז או את הנוזל היא בעצם מקור כוח

מובן שאין לכך ערך פרקטי, ואפילו קשה לדמיין איך נאחסן כמות כה גדולה של מידע. אולם אם אנו מתעניינים רק בהתנהגות הנוזל על סקאלות זמן ומרחב שעולות על סקאלות הזמן והמרחב המולקולריות (כלומר, אנו בוחנים את המערכת ברזולוציה קטנה מהרזולוציה המולקולרית), מותר לנו לחשוב על המים כעל מקשה רציפה אחת ולשכוח מהמבנה המורכב בסקאלה האטומית המיקרוסקופית.

אנחנו יכולים, למשל, לשוות בדמיוננו את הנוזל להרבה חתיכות קטנות (כל חתיכה כזאת נקראת בעגה המקצועית "תת–מערכת"), כשכל אחת גדולה משמעותית מהמרחק בין מולקולות שכנות, אבל בה בעת קטנה משמעותית מהנוזל שאנחנו רוצים לתאר. בכל תת–מערכת כזו אנחנו מתעלמים מהמבנה המולקולרי ומייחסים לה טמפרטורה אחידה, מהירות אחידה, לחץ אחיד וכו'. מובן שהגדלים האלה הם בדיוק הממוצעים המשוקללים עבור המולקולות שנמצאות בתת–המערכת הנדונה.

מה עשינו אם כן? החלפנו מילארדי מיליארדים של משוואות במשוואות מעטות עבור מספר קטן בהרבה של תת–מערכות. ההנחה הנוספת היא שתת–המערכות הללו (כל אחת מייצגת מיצוע על המון מולקולות בודדות) מתנהגות באופן רציף וחלק בזמן (כלומר אין קפיצות פתאומיות), והן מאפשרות לכתוב משוואה אחת שקושרת ביניהן. המשוואה הזו נקראת משוואת "נאוויה–סטוקס" והיא שימושית באופן שקשה לתאר, החל באפליקציות הנדסיות וכלה במחקרים תיאורטיים בחזית המדע (יש לציין שיש כמה בעיות פתוחות מעניינות וחשובות הסובבות סביב משוואה זו, למשל בתחום הזרימה העירבולית, אולם תיאורן יחייב מאמר נפרד).

כך או כך, הרעיון הבסיסי שלפיו אנחנו מזהים את המשתנים המעניינים וממצעים את המשתנים הלא מעניינים הוא המפתח לכך שהפיזיקה היא מדע מוצלח ושימושי. ללא פריצת דרך מחשבתית זו, לא הייתה בידינו היכולת לתאר את העולם בסקאלות שונות בצורה שימושית ומובנת.

X

הגזים האידיאליים ותיאוריית הנוזלים הם שתי דוגמאות שובות לב לאופן שבו האי ידיעה שלנו לגבי מה שקורה לחלקיקים שמרכיבים את הגז או את הנוזל היא בעצם מקור כוח. את האי ידיעה שלנו אנחנו מבטאים בכך שאנחנו מתפשרים על כמות הידע שאנו רוצים לדלות מהמערכת ואנחנו מתפשרים על כך שנעשה מדידות על סקאלות מקרוסקופיות בלבד. כתוצאה מכך אנחנו פונים למתמטיקה של תיאוריית ההסתברות וממצעים את מה שאינו מעניינו.

בעשורים האחרונים התברר כי הרבה מערכות בעלות עניין רב מתנהגות בצורה מסובכת יותר מהמקרים הפשוטים שתיארנו עד כה. באופן כללי, בהינתן מערכת של חלקיקים שביניהם פועלים כוחות הדדיים כלשהם, אין אנו יכולים להחיל את חוק המספרים הגדולים על מנת להקטין את כמות המשתנים במערכת. באופן דומה, כאשר דנו בנוזלים, חילקנו את המערכת הגדולה להרבה תת–מערכות שמתנהגות בעצם כמעט כישויות אוטונומיות. אולם בהרבה מקרים מעניינים חלוקה כזאת אינה אפשרית כיוון שהמערכת כולה נמצאת במין מצב קיבוצי שאינו מאפשר להתעלם מהיחסים המורכבים בין תת–המערכות השונות (ברור שלרבים מהרעיונות הנדונים פה יש משלים מתחומי החברה והכלכלה, ולעתים, משלים מוצלחים מאוד).

הדוגמה המפורסמת ביותר, אולי, היא מתחום הפיזיקה הגרעינית. בשנת 1911 גילה ארנסט רתרפורד את גרעין האטום, שכיום אנו יודעים כי הוא מורכב מפרוטונים ומניוטרונים. במשך כמה עשורים האמינו כי הפרוטונים והניוטרונים הם החלקיקים היסודיים, כלומר חסרי מבנה פנימי. אולם התמונה המודרנית היא שהפרוטון והניוטרון הם כמעין אובייקט כדורי (ברדיוס קטן בכמה סדרי גודל מאטום המימן) אשר משמש בית לכמות עצומה, בלתי מוגבלת, של קווארקים וגלואונים שצצים מתוך הריק באופן מתמיד ונעלמים לתוכו בחזרה כהרף עין. לו היה בידינו מכשיר מדידה (למשל צמצם מצלמה) בעל רזולוציית־זמן של 10^{-23} (10 בחזקת מינוס 23 שנייה), לא היינו רואים פרוטון (או ניוטרון) כלל, אלא ג'ונגל של קווארקים וגלואונים שמבקרים בעולמנו לרגע, מתקדמים מעט ונשאבים אל הלא נודע.

אנו יודעים בוודאות שזוהי תמונה נכונה גם איכותית וגם כמותית כתוצאה מניסויים רבים שאכן בחנו את סקלת הזמן של 10^{-23} שניות. מצד שני, אנו יודעים בוודאות כי צופה שאינו מעוניין למדוד זמנים כל כך קצרים, למשל פיזיקאי גרעיני (או כימאי), לא רואה קווארקים וגלואונים כלל, אלא פרוטונים וניוטרונים כדוריים ופשוטים יחסית. לכן מוכרחים אנו להקיש כי לאחר מיצוע המשוואות המתארות את הקווארקים והגלואונים נגלה כי המשתנים שנותרו הם מין כדורים עגולים שניתן לזהות עם הפרוטונים והניוטרונים.

חשוב להדגיש את הדמיון לגז האידיאלי (או לנוזלים). הקווארקים והגלואונים משולים לאותם מיליארדי מיליארדים של חלקיקי גז שתחת נסיבות רגילות אין אנו רואים אותם או מרגישים בהם. לאחר מיצוע של חלקיקי הגז האידיאלי גילינו כי ניתן להחליף את אותם חלקיקי גז במונחים מיקרוסקופיים כגון לחץ וטמפרטורה. באופן דומה, כאשר נמַצֵע את הקוווארקים ואת הגלואונים, אמורים אנו לגלות את הפרוטון והניוטרון.

ברם, לצערנו, חוק המספרים הגדולים אינו תקף עבור הקווארקים והגלואונים. הכוחות ההדדיים ביניהם גדולים ובלתי ניתנים להזנחה. איש מעולם לא הצליח להראות מתמטית שאכן משוואות הקווארקים והגלואונים מנבאות את קיום הפרוטון והניוטרון. חשוב להדגיש שלמרות שזו בבירור בעיה בעלת חשיבות עצומה בפיזיקה יסודית שאין לנו בנמצא פתרון עבורה, יש לנו ביטחון רב בתמונה האיכותית, כלומר שאכן ישנו תהליך מיצוע על הקווארקים והגלואונים שתוצאתו היא קיום הפרוטונים והניוטרונים. פותר בעיה זו יהפוך בן לילה עשיר במיליון דולר, כיוון שזו אחת משבע "בעיות המילניום" של מכון קליי (אחת משבע הבעיות האלה – השערת פואנקרה – נפתרה לפני מספר שנים על ידי גריגורי פרלמן, אולם הוא סירב לקבל את הפרס הכספי).

X

בפיזיקה, כמו במתמטיקה, כאשר נתקלים בבעיה קשה או במבוי סתום, אחד הכלים החזקים ביותר שעומדים לרשותנו הוא כלי האבסטרקציה, כלומר לשאוף לנקודת תצפית גבוהה יותר שממנה רב הגלוי על הנסתר (או רבה היכולת להתבונן בבעיה בהקשר הכללי של סביבתה). הרבה בעיות מפורסמות במתמטיקה ובפיזיקה נפתרו בדיוק בשיטה זו. לכן, במקום לתהות על קנקן הקווארקים והגלואונים, פיתח פרופ' קנת' וילסון תיאוריה כללית, הידועה בשם "חבורת הרנורמליזציה". תיאוריה זו מאפשרת לחשוב בצורה סדורה על תהליך המיצוע גם במקרים שבהם חוק המספרים הגדולים אינו חל בגלל אינטראקציות חזקות. חשוב לומר שנקודת מבט כללית יותר זו עדיין לא הובילה לפתרון חידת הקיום של הפרוטונים והנויטרונים, אולם היא הובילה להתקדמות עצומה בהרבה שטחים

מדוע רשאים אנו להחליף את התיאור "האמיתי" של הגז, כלומר מיליארדי מיליארדים של משוואות, בפחות מתריסר משתנים ובסט של משוואות אלמנטריות הקושרות משתנים אלה? זוהי אחת השאלות הכי עמוקות בפיזיקה

המרחב־זמן הוא אובייקט נגזר ואינו אובייקט ראשוני. כלומר, מארג המרחב־זמן עצמו הוא באופן אפקטיבי ממוצע על משהו יסודי יותר. האם המרחב־זמן הוא אובייקט מקורב, שאיננו קיים בתיאור האולטימטיבי של הטבע?

אחרים של הפיזיקה. למשל, ההבנה המודרנית של מצבי צבירה שונים של החומר בטמפרטורות נמוכות נסמכת על חבורת הרנורמליזציה של וילסון.

אחת השאלות המיידיות שעלו עם פיתוח חבורת הרנורמליזציה הייתה האם ניתן תמיד לומר שמספר המשתנים האפקטיבי קטן כתוצאה מתהליך המיצוע. התשובה האינטואיטיבית היא כמובן חיובית, כיוון שעל פי הגדרתו תהליך המיצוע מאפשר להיפטר ממשתנים שאין לנו עניין בהם או שהם משתנים מהר מדי מכדי שנוכל לעקוב אחריהם.

אולם דוגמאות נגדיות בתיאוריות עם צימודים הדדיים (אינטראקציות) חזקים נמצאו לרוב במרוצת השנים. לקראת אמצע שנות ה־80 של המאה הקודמת הוכיח הפיזיקאי הרוסי פרופ' אלכסנדר זמולודצ'יקוב כי תחת הנחות מסוימות על התיאוריות הפיזיקליות, אכן מספר דרגות החופש תמיד קטן בתהליך המיצוע. ההוכחה שלו הייתה עבור מערכות חד־ממדיות בלבד. ההשלכות של התוצאה הזו רבות מספור בתחומים כגון חומר מעובה, פיזיקה של אנרגיות גבוהות וכו'. זו אחת התוצאות המעניינות ביותר בפיזיקה עיונית של השנים האחרונות.

השאלה המקבילה עבור מערכות בשניים ובשלושה ממדי מרחב נותרה פתוחה כמה עשורים, עד קיץ 2011, שבו נפתרה השאלה עבור מערכות תלת–ממדיות, עם מסקנות דומות לאלה של זמולודצ'יקוב.

ההשלכות של התוצאה בשלושה ממדים רבות גם כן, וחלקן כבר נדונו בספרות המדעית. המקרה של מערכות בשני ממדי מרחב עומד בעינו ללא ביאור המניח את הדעת.

X

חזית מחקר תוססת נוספת, ספקולטיבית בהרבה, נוגעת לטבע של המרחב־זמן עצמו. האם ייתכן שהמרחב־זמן אינו אלא מראית עין? האם ייתכן שכאשר תהיה לנו הטכנולוגיה לעשות ניסויים שימדדו מרחקים בסדר גודל של 10^{-34} מטרים לא יהיה זכר למרחב ולא יהיה זכר לזמן?

הרעיון הוא שהמרחב־זמן הוא אובייקט נגזר ואינו אובייקט ראשוני. כלומר, מארג המרחב־זמן עצמו הוא באופן אפקטיבי ממוצע על משהו יסודי יותר. הבה נזכור שהפרוטון איננו מושג ראשוני, הוא מתקבל רק בגבול מסוים כשממצעים על הרבה קווארקים ועושים מדידות על סקאלות זמן ארוכות יחסית. באופן דומה, האם המרחב־זמן הוא גם כן אובייקט מקורב, שאיננו קיים בתיאור האולטימטיבי של הטבע?

איננו יכולים לענות בוודאות על שאלה זו כרגע. היא כנראה מעבר למנעד היכולות שברשותנו. אולם בידינו עדויות רבות, ישירות ועקיפות, כי התשובה חיובית. כלומר, המרחב והזמן אינם חלק אינטגרלי מהטבע. בתיאוריה האולטימטיבית כנראה אין גיאומטריה באופן ישיר, והגיאומטריה צצה רק בקירוב מסוים.

מעניין לחשוב על המשמעות הפילוסופית של אפשרות זו. עבור ניוטון המרחב והזמן היו שונים בטיבם, אבל הכרחיים בניסוח החוקים הנקראים על שמו. איינשטיין איחד את מושגי "המרחב" ו"הזמן" בתיאוריית היחסות הכללית שלו. יחד עם זאת, עדיין איננו מבינים את כל הפרטים הנוגעים לאופן שבו תורות המכניקה הקוונטית והיחסות הכללית מאוחדות בתוך מסגרת פיזיקלית אחת, אבל בכל הרעיונות שנראים כמבטיחים ביותר, נראה שאנחנו חייבים לוותר על היות הגיאומטריה מושג מובנה בעולמנו.

מעניין גם לתהות על משמעות הוויתור על מושג הזמן. הרי פיזיקה לפי הגדרתה אמורה לנבא מה יקרה בעתיד למערכת שתנאי ההתחלה שלה ידועים. מהו תפקיד הפיזיקה אם אין משמעות למושג הזמן בתיאוריה האולטימטיבית. מה מחליף את הגיאומטריה ששיחקה תפקיד כל כך חשוב בפיזיקה ובמתמטיקה עד כה? X

דגם "מילי" של "כתר פלסטיק", עוצב ב־1985. כיסא המונובלוק הראשון של החברה ואחד מהראשונים בעולם

כיסא כתר פלסטיק

זה כיסא שבא לתת עבודה. לא להתיפייף. ראשית: הוא נוח. הכי נוח. אין יותר נוח ממנו לישבן. שנית: הוא זול. שלישית: הוא נערם. רביעית: הוא עמיד – לא נהרס בשמש ולא נמס בחום. הוא אחד הכיסאות הראשונים שיוצרו בטכנולוגיית המונו בלוק – הזרקת פלסטיק מומס לתוך תבנית סגורה. אין חלקים, אין הברגות, הכל יציקה אחת. היום הטכנולוגיה הזאת משרתת מעצבים רבים (פיליפ סטארק, כרים ראשיד), אבל כשכתר התחילו לייצר אותו לפני כמעט שלושים שנה, הם היו מהראשונים. אני אוהבת לראות את המופעים השונים שלו בציבוריות הישראלית: החל בכנס של הליכוד ועבור דרך חצרות, סוכות אבלים, קפטריה בבית ספר. בכל מקום. דרכו הבנתי שצריך לפקפק בכל מה שאוטומטית נחשב לנמוך, או מכוער, או המוני. לפעמים יופיו של מוצר מתבטא דווקא באגביות שלו. באי־נראות שלו.

הפורטרטים העצמיים של רמברנט

מעטים האמנים המסוגלים להתבונן על עצמם ביושר כזה. בכנות. ללא כחל וסרק. כדי להצליח, צריך להיות בו זמנית גם הכי עצמך וגם הצופה מהצד. כשראיתי לראשונה את הפורטרטים בזה אחר זה, בסדר כרונולוגי – מחזור חיים שלם של אדם – הרגשתי שהבנתי משהו על החיים.

המשך בעמ' 39 ◄

מדידות זעירות, מהפכה גדולה

ד"ר בינה קליסקי

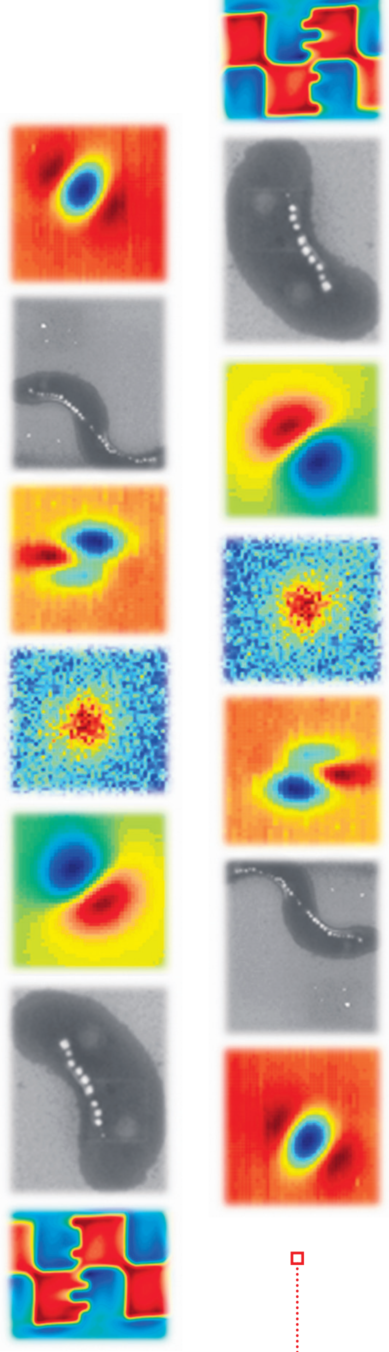
הננוטכנולוגיה מבטיחה אינספור חומרים והתקנים חדשים, אך מציבה אתגר גדול: אם חוקרים לא יפתחו כלי מדידה חדשים להבנת תכונות החומרים הזעירים, לא תהיה אפשרות לשלוט בהם. במאמץ לגשר על הפער, ד"ר בינה קליסקי בונה את המיקרוסקופ המגנטי הרגיש בעולם

מן הידועות היא כי לא כל הנוצץ זהב, אך כשמדענים בחנו לראשונה מולקולות זהב בודדות הם גילו גם שלא כל הזהב נוצץ: מתברר שכאשר מסתכלים על החומר במיקרוסקופ, צבעו משתנה לאדום או לסגול, ותכונות רבות אחרות שלו משתנות אף הן. חקר ומניפולציה של חומרים בקנה מידה ננומטרי – מיליארדית המטר – הולך ומתרחב בשנים האחרונות, והוא נסמך על התופעה המופלאה הזו, בה תכונות בסיסיות של חומרים משתנות כאשר אלה ממוזערים לננומטרים בודדים. זהו תחום הננוטכנולוגיה. כיום מנסים מדענים בתחום הזה לפתח שלל פיתוחים חדשניים – כמו חומרים בעלי מוליכות גבוהה ביותר, מגנטים זעירים או מתכות קשיחות וקלות כאחת – שמסתמכים על היכולת לשלוט בתכונות החומר על ידי מניפולציות בקנה מידה של מולקולות ואטומים בודדים.

העולם הננומטרי טומן בחובו הבטחה אדירה לפיתוח אינספור סוגים חדשים של חומרים והתקנים לשיפור חיינו, אך תחום הננוטכנלוגיה ניצב כיום בפני אתגר משמעותי. כפי שמהנדס המעוניין לבנות גשר חייב להכיר היטב את תכונות החומרים שבהם הוא רוצה להשתמש, כך גם מפתחי יישומים ננוטכנולוגיים נדרשים להכיר מקרוב את החומרים בסקאלת הננומטר שבה הם רוצים לעבוד. אך בעוד שקל למדי לחקור את התכונות של קורות מתכת או לבנים לבניית בניין, הרי שהמשימה הופכת למורכבת יותר ככל שמדובר בחומרים זעירים. אם, למשל, אנו רוצים לחקור את תכונותיהן של לבנים מסוג מסוים, קיימים כלי מדידה זמינים למשימה. כמו כן, ההבדל בין תכונות לבנה אחת לאחרת אינו משמעותי, ולכן חקר תכונות הלבנים יסתיים לאחר מדידות ספורות. לא כך כשמדובר בננו־חלקיקים: כיוון שבכל חלקיק חומר ישנו מספר אטומים מצומצם, מיקומו של כל אטום משפיע באופן משמעותי על תכונות החומר, והשונות בין תכונות החלקיקים גבוהה מאוד. בנוסף, לא תמיד קיימים מכשירים רגישים דיים שיכולים למדוד "לבנה ננומטרית" בודדת. לכן נוצר בשנים האחרונות פיגור משמעותי בין היכולת לפתח חומרים והתקנים בתחום הננו לבין היכולת למדוד את תכונותיהם.

דוגמה בולטת לתכונה שבמחקר שלה קיים פער בין יכולת הפיתוח הטכנולוגי לבין יכולת המדידה היא המגנטיות. רבים מהיישומים הננוטכנולוגיים החדשניים מבוססים על התכונות המגנטיות של החומרים הזעירים המרכיבים אותם, ולכן ישנה חשיבות רבה ליכולת לבצע מדידות מגנטיות מדויקות של חומרים בקנה מידה כה קטן.

המיקרוסקופים המגנטיים הרגישים ביותר המשמשים כיום למחקר יכולים לאתר ננו־חלקיקים מגנטיים רק אם הם מופיעים בקבוצה של טריליון (אלף מיליארד) ננו־חלקיקים. מיקרוסקופים אלה אינם יכולים לשמש לחקר תכונות חומרים זעירים, שכן מכשירים אלה מחשבים רק את ממוצע התכונות של אותם מיליוני ומיליארדי אטומים. הממוצע הזה יכול למסך את ההתנהגות הפיזיקלית של החומר, שכן במדידת מיליונים או מיליארדים של חלקיקים ביחד אובד מידע רב: התכונות הפיזיקליות משתנות באופן משמעותי בין חלקיק לחלקיק – בגלל שונות של הנפח, הצורה, המבנה או ההרכב הכימי. לכן חשוב



מיפוי השדה המגנטי של חיידק מגנטי. חיידקים מגנטו־טקטיים הם קבוצה של חיידקים שבאופן טבעי מגדלים בתוכם שרשרת של ננו־חלקיקים מגנטיים. בגלל השרשרת, הגוף המוארך של כל חיידק מתיישר בכיוון השדה המגנטי של כדור הארץ, כמו מחט של מצפן. בעזרת המיקרוסקופ הסורק ניתן למדוד כל חיידק בנפרד

לחפש טכנולוגיה שרגישה דיה כדי לבצע מדידות על חלקיק בודד.

כאן נכנסת העבודה שלי לתמונה. אני בונה במעבדה שלי באוניברסיטת בר־אילן מיקרוסקופ שמסוגל לבצע את המדידות הרגישות ביותר לתכונות המגנטיות של חומרים. המכשיר הזה ידוע כ־scanning Superconducting Quantum Interference Device Microscopy, או בקיצור – מיקרוסקופ SQUID־סורק.

מיקרוסקופ ה־SQUID שאני בונה יכול למדוד עשרות בודדות של אלקטרונים. השיפור ברזולוציה המגנטית שלו לעומת המיקרוסקופים המגנטיים הרגישים ביותר הקיימים בשוק הוא שיפור של כמעט עשרה סדרי גודל, וכיום זהו המיקרוסקופ הרגיש ביותר בעולם למדידות מגנטיות.

לסדר ספין

אז מהי בעצם תכונת המגנטיות? לאלקטרונים יש שתי תכונות ידועות: מטען חשמלי, המאפשר יצירת זרם חשמלי, וספין (סיבוב). באופן פשטני אפשר לומר שהמקור לתכונת הספין הוא סיבוב של האלקטרון סביב צירו. שדה מגנטי הוא סכום כל הספינים שה"סיבוב" שלהם מצביע לאותו כיוון. חומרים מגנטיים מייצרים סביבם שדה מגנטי, שכן האלקטרונים שלהם מפנים את הספין שלהם לאותו כיוון. כך מצטבר מקור כוח מגנטי, או "מומנט" גדול מספיק שנוכל להרגיש אותו וגם להדביק אותו למקרר. ברוב החומרים הספין של האלקטרונים מצביע לכיוונים אקראיים, ולכן הם אינם מגנטיים.

המיקרוסקופ שאנו בונים מורכב מטבעת זעירה של מוליך־על. מוליך־על הוא חומר עם שתי תכונות מרכזיות: זרם חשמלי חולף בו ללא כל התנגדות, והוא אינו נותן לשטף מגנטי לעבור דרכו. ניתן להשתמש בתכונה השנייה ליצירת ריחוף: ביפן הציבו על מסילות מגנטיות רכבות עם פס מוליך־על כדי ליצור נסיעה עם חיכוך מינימלי ומהירות מירבית.

מיקרוסקופ ה־SQUID מנצל את שתי התכונות האלה של מוליך־על. המתח הנוצר על הטבעת מוליכת־העל של המיקרוסקופ רגיש מאוד לשינויים בשטף השדה המגנטי העובר דרכה. אפשר להשתמש בהתנהגות פיזיקלית זו כדי לעקוב אחרי שינויים בשדה המגנטי העובר דרך הטבעת. כאשר מסיעים טבעת כזו מעל אובייקט שאנו מעוניינים למדוד, אפשר למפות בדיוק רב את הטופוגרפיה המגנטית של הדגם. למשל, אם על משטח מונח ננו־חלקיק מגנטי בודד, אפשר למפות את השדה סביבו ולמצוא מה סך הספינים הכלולים בו. ככל שהטבעת קטנה יותר ונמצאת קרוב יותר לחלקיק, כך אפשר לתפוס איתה קווי שדה מגנטי רבים יותר (דמיינו קווים העוברים מהצפון לדרום של המגנט, כמו שהם עוברים סביב כדור הארץ). כיוון שהטבעת מוסעת מעל הדגם הנחקר, אפשר להבחין באופן מדויק בהתפשטות

קווי השדה ממנו, עד לדעיכתם.

ישנן מספר קבוצות בעולם המפתחות את טכנולוגיית ה־SQUID הסורק למדידות מגנטיות רגישות וזעירות, שתיים מהן בישראל. בתחום זה אנחנו מעצמה.

המכשירים שאנו מפתחים משמשים למחקר מרתק של תופעות פיזיקליות המתרחשות בסקאלה זעירה. בשל מיעוט המדענים המומחים במדידות מגנטיות רגישות מאוד, אני מקבלת פניות רבות ממעבדות ברחבי העולם המבקשות למדוד את הדגמים שלהן במיקרוסקופ ה־SQUID הסורק. אנו יכולים, למשל, לגלות אם החומר שממנו עשוי דגם נתון מכיל מגנטים זעירים באמצעות מעקב אחר תגובת הדגם לשינויים קטנים בשדה החיצוני המופעל עליו.

אחת השאלות הבסיסיות במדע החומרים היא כיצד שינויים זעירים בקנה מידה אטומי גורמים לשינויים דרמטיים בתכונות הפיזיקליות של החומר. למשל, מדוע חומרים מסוימים משנים את התנגדותם לזרם העובר בהם, או מפתחים תכונות מגנטיות, או משנים את גודלם בנוכחות שדה חשמלי. הרגישות הגבוהה של המיקרוסקופ והעובדה שבמציאות החומרים אינם הומוגניים כפי שהיינו רוצים לחשוב, מאפשרות לנו למפות שינויים לוקאליים בתכונות פיזיקליות שונות כגון מגנטיות והולכה חשמלית. מיפוי כזה יאפשר לנו להבין מדוע עיוות מסוים בדגם גורם לתכונה מסוימת ולא אחרת.

איים מגנטיים בזרם

אחת התגליות החשובות שלי באמצעות המיקרוסקופ נוגעת לתופעה שמרתקת מדענים רבים בתחום מדע החומרים. מדובר בקסם שמתרחש כאשר מגדלים חומר אחד על חומר אחר כמו ממרח על פרוסה. כאשר לוקחים שני חומרים, שכל אחד מהם בפני עצמו מבודד ולא מגנטי, אבל מניחים אותם זה על גבי זה בלפחות ארבע שכבות של אטומים בודדים, הממשק ביניהם נהפך פתאום למוליך, למוליך־על ואפילו למגנטי. כל זה מפתיע מאוד. הופעת תכונות בממשק שכזה והיכולת לשלוט על הופעתן חשובות ומעניינות טכנולוגית ומחקרית, במיוחד כיוון שההולכה היא דו־ממדית.

חקר המבנה הזה הצריך מדידות רגישות, והמיקרוסקופ שלנו נרתם למשימה. כך גילינו שבמבנה מופיעים איים מגנטיים קטנטנים, בדומה לזיכרונות מגנטיים. אנחנו עדיין לא מבינים מדוע האיים המגנטיים הזעירים האלה מופיעים פתאום ואיך הופעתם יכולה להשתלב עם התנהגויות אחרות בחומר, אך אנו רואים שהם שם. בנוסף גילינו שההולכה בממשק אינה הולכה דו־ממדית אחידה ופשוטה, אלא קיימת בממשק רשת של ערוצים דקים שבהם זורם הזרם.

דוגמה נוספת לחידה שאנחנו מנסים לפתור בעזרת המיקרוסקופ היא בעיה שמטרידה גיאולוגים שעוסקים בחיפוש מאגרי מים תת־קרקעיים. לשם כך יש מדענים שממפים את תכונות הקרקע בעומק של כמאה מטרים על ידי הנחת סלילים חשמליים על פני הקרקע והזרמת זרם בהם ליצירת שדות מגנטיים. מדידת הדרך שבה הספינים "מתאוששים" משדה מגנטי חיצוני נקראת "מדידת תהודה מגנטית גרעינית" (Nuclear Magnetic Resonance, או NMR), והיא מאפשרת להעריך את כמות המים ואת מיקומם בעומק הקרקע. הבעיה היא שהסיגנל הנמדד פשוט לא מסתדר עם מה שהתיאוריה צפתה, והדבר מעלה קושיות לגבי שיטת המדידה ומוביל למסקנה שאולי היא בכלל אינה מעשית. בניסיון להבין את הסיגנל, אחת ההשערות היא שישנם שינויים מגנטיים המופיעים בקרקע בסקאלה קטנה, והם האחראים לתופעה. אנו ממפים את הסיגנל המגנטי של

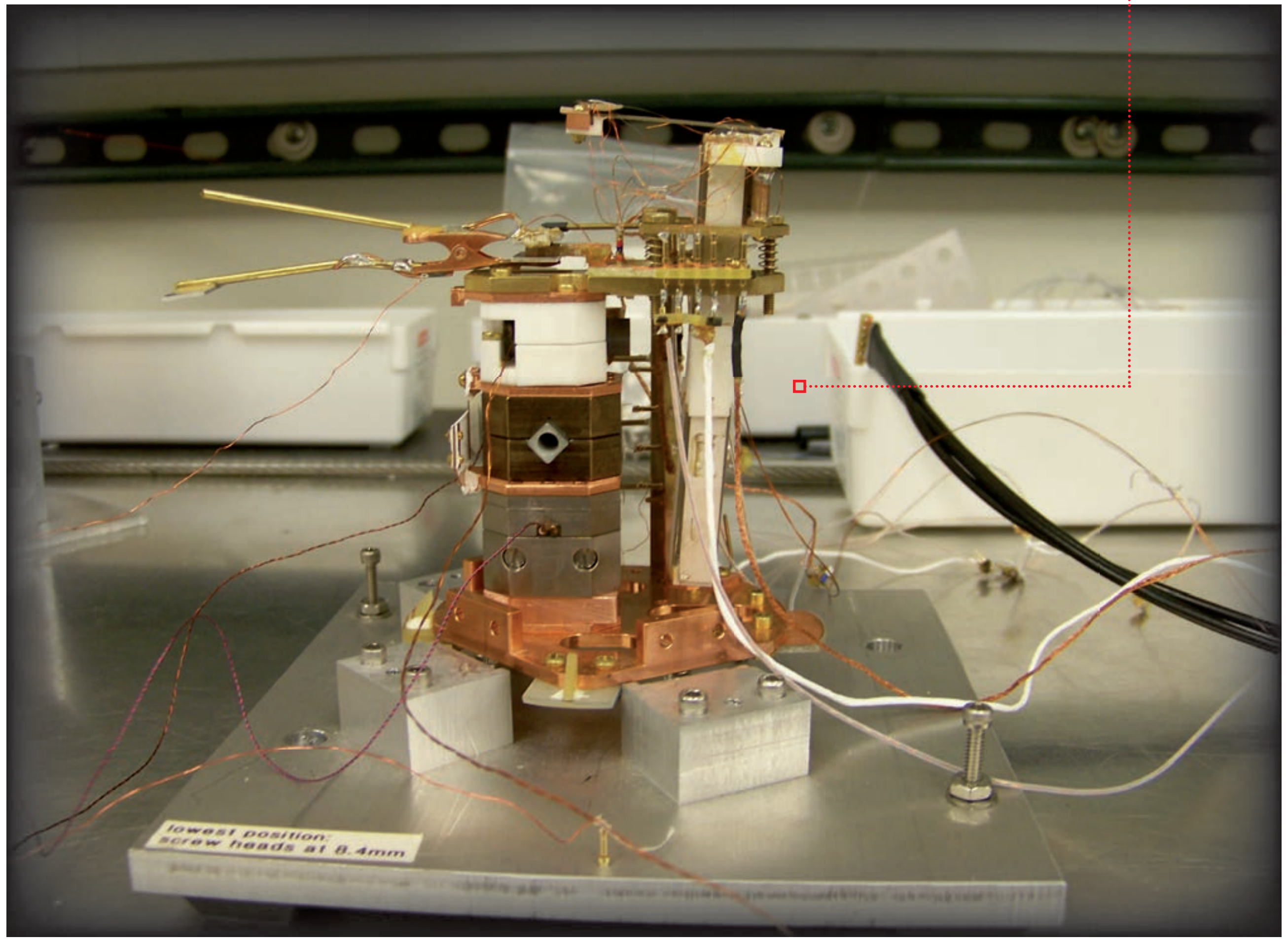
ישנן מספר קבוצות בעולם המפתחות את טכנולוגיית ה־SQUID הסורק למדידות מגנטיות רגישות וזעירות, שתיים מהן בישראל. בתחום זה אנחנו מעצמה

דגימות חול שנלקחו מקידוח בעומק 23 מטרים באתר ניסויים במאגר מים גדול ליד נברסקה והובאו למעבדתנו. נכון לעכשיו גילינו שאכן ישנם שינויים מגנטיים זעירים בסקאלה קטנה. התוצאות שסיפק המיקרוסקופ מסבירות את הסיגנל הנלווה שמופיע במדידות NMR בסקאלה של מאה מטרים.

כיוון שמיקרוסקופ SQUID יכול למדוד שדה מגנטי ברזולוציה גבוהה, ניתן להשתמש בו גם בתחום הביולוגיה. היתרון המרכזי של הוא שמדידה מגנטית אינה נוגעת בדגם, ולכן אינה "מכתימה" או "מזהמת" אותו ואינה מתערבת בפעולתו. שני מחקרים שבהם אני עוסקת הם מדידת זרם של תא עצב בודד ובחינת חיידקים מגנטיים.

חיידקים מגנטיים נמצאים בנחלים ברחבי העולם, וכחלק ממנגנון הניווט שלהם הם נעזרים בשדה המגנטי של כדור הארץ. כל חיידק, שהוא תא בודד בגודל של כחצי מיקרון, מכיל ננו־חלקיקים מגנטיים המסודרים בשורה. הננו־חלקיקים מיישרים את החיידק עם כיוון השדה המגנטי של כדור הארץ בדומה למצפן. חוקרים מסטנפורד גילו שחיידקים אלה משפרים באופן ניכר את הסיגנל של סורק MRI כשמזריקים אותם למחזור הדם במהלך בדיקה.

בניסיון להבין את המנגנון שמאחורי התופעה הזאת, השתמשתי ברגישות של מיקרוסקופ ה־SQUID ומדדתי חיידקים בודדים. גיליתי שהשונות המגנטית בין כל חיידק לחברו גדולה בהרבה מהמצופה, והשוויתי בין חיידקים שגודלו בתנאי סביבה שונים ולכן פיתחו רמות שונות של מגנטיות. אנו מנסים לתרום לשיפור הרזולוציה של מדידות רפואיות כמו MRI, עד לרמה של ביצוע MRI על תאים בודדים.



חלק ממיקרוסקופ ה־SQUID הסורק. ה־SQUID הוא חיישן שמסוגל למדוד שטף מגנטי ברגישות גבוהה. רגישותו גדולה פי טריליון מהמגנטומטרים המסחריים הקיימים היום, והוא מסוגל למדוד שדה מגנטי החלש אפילו פי מיליון מהשדה המגנטי של כדור הארץ

כיוון שהמיקרוסקופ פועל כיום רק בטמפרטורות נמוכות בהרבה מטמפרטורת החדר, הוא מחייב את הקפאת הדגמים הביולוגיים, ולכן לא ניתן לעקוב בעזרתו אחרי הדינמיקה של מערכות חיות. אני מחכה בקוצר רוח ליום שבו אוכל לבנות מיקרוסקופ בטמפרטורת החדר למדידת דגימות ביולוגיות, אך זה עדיין חלום רחוק.

בעשור הקרוב בכוונתי לפתח ולשכלל את ה־SQUID הסורק ולשלב בו טכנולוגיות חדשניות, כדי שאפשר יהיה לפתור בעזרתו בעיות רבות נוספות בתחום הזה. ✕

המיקרוסקופים המגנטיים הרגישים ביותר המשמשים כיום למחקר יכולים לאתר קבוצות של טריליון ננו־חלקיקים. מיקרוסקופ ה־SQUID שאני בונה יכול למדוד עשרות בודדות של אלקטרונים

איור: רועי אופנהיים

פולמוס בין בלשנים בשלוש מערכות (בינתיים)

צד א׳: שפה נלמדת

ד״ר ענבל ארנון ופרופ׳ שולי וינטנר

בניגוד לפרדיגמה החומסקיאנית השלטת, הטוענת כי רכישת שפה מבוססת על כללים מולדים, מציגים ד״ר ארנון ופרופ׳ וינטנר (להלן צד א׳) את המודל האלטרנטיבי, התלוי־שימוש, שזוכה בעשרים השנה האחרונות לפריחה תיאורטית ואמפירית. בהמשך – מאמר תשובה חומסקיאני של פרופ׳ עידן לנדו (להלן צד ב׳)

אין הרבה מקרים בהיסטוריה המדעית שבהם מאמר אחד מוביל לניפוץ פרדיגמה קיימת ומעבר לפרדיגמה חדשה. ב־1959 פרסם נועם חומסקי מאמר ביקורת על ספרו של פ׳ סקינר, ״התנהגות ורבלית״. סקינר ניסה להציע מודל התנהגותי (ביהביוריסטי) המסביר כיצד ילדים לומדים לדבר. חומסקי, בביקורת שנהפכה למפורסמת יותר מהספר המקורי, לא רק הנחית מכת מוות על התיאוריה ההתנהגותית, אלא גם הניח את היסודות ל״מהפכה החומסקיאנית״. הבלשנות החומסקיאנית הייתה מהפכנית בכך שהגדירה מחדש את מושא המחקר (מהי שפה? מה מטרת המחקר הבלשני?) ואת כלי המחקר (באילו כלים ניתן לענות על השאלות הללו?). בעוד שבלשנים מסורתיים רבים ראו את עיקר תפקידם בתיאור שפות העולם והקשרים ביניהן, החידוש העיקרי של חומסקי היה בהתייחסות לשפה כאל יכולת קוגניטיבית: על המחקר הבלשני לעסוק בידע הלשוני של דוברים ובאופן שבו ידע זה מאורגן, מיוצג ונרכש. הרעיונות הללו, שתאמו את העניין הגובר בתהליכים קוגניטיביים, זכו לתומכים רבים, ובתוך זמן קצר הפכה הגישה החומסקיאנית לתיאוריה הדומיננטית בתחום הבלשנות[1].

1) על הסיבות לדומיננטיות של הפרדיגמה החומסקיאנית נכתבו תילי תילים של מילים. ראו למשל (Johnson & Lappin 1997) לניתוח מרתק על ״המהפכנות״ של הפרדיגמה והסיבות הסוציולוגיות להתקבלותה.

אולם ככל שעברו השנים, כך גברה הביקורת כלפי חלק מהנחות היסוד של הפרדיגמה החומסקיאנית. במאמר זה נתמקד באחת משאלות היסוד של הפרדיגמה: איך ילדים לומדים שפה? נסקור את התשובה החומסקיאנית ואת הביקורות על התשובה הזו ונציג מודל אלטרנטיבי הנקרא תלוי־שימוש (usage-based), שתופס בעשרים השנה האחרונות מקום נרחב יותר ויותר ונבדל מהפרדיגמה החומסקיאנית, הן באפיון תהליך הלמידה והן באפיון התוצר שלה.

הבעיה הלוגית של רכישת שפה

השאלה המרכזית שאנו עוסקים בה, שהייתה גם אחת השאלות שהובילה לפיתוח הפרדיגמה החומסקיאנית, היא שאלת רכישת שפה. היכולת לתקשר בשפה טבעית היא הכישור הקוגניטיבי העיקרי המבדיל את המין האנושי ממינים אחרים. כל מי שצפה בתהליך רכישת שפה אצל ילד המתפתח באופן תקין השתאה לנוכח הקלות, הטבעיות והמהירות של התהליך. האבחנות העיקריות הן שתיים: ילדים רוכשים את השפה שהם נחשפים אליה (כלומר, תינוקת שנולדה באתיופיה תרכוש אמהרית אם תגדל בסביבה דוברת אמהרית, אבל אותה תינוקת תלמד לדבר עברית אם תגדל בסביבה דוברת עברית), והם יצירתיים להפליא (כלומר, ילדים מפיקים מבעים רבים שמעולם לא שמעו). השילוב של שתי האבחנות הללו מוביל לסתירה לכאורה:

מצד אחד ברור שלקלט – השפה שאליה ילד נחשף – יש השפעה מכרעת על תהליך הרכישה. מצד שני נראה שהידע הלשוני של הילד – היכולת ליצור מבעים – חורג מעבר לקלט. על פניו הידע הלשוני של הילד נוצר יש מאין.

כל מי שהתנסה בלימוד שפה שנייה כמבוגר יודע שזוהי משימה קשה ולא מובנת מאליה. ובכל זאת, ילדים – כל הילדים! – מצליחים בה באופן מושלם. על הילד לגלות מה הם הצלילים הרלוונטיים בשפה, שכן שפות שונות משתמשות בצלילים שונים, להבין איך לחלק את רצף הדיבור למילים, שכן בשפה דבורה אין באמת "רווחים" בין המילים, וללמוד מהי המשמעות של המילים – למשל, שהמילה "כלב" מתארת את כל הכלבים ולא רק את הכלב המשפחתי. ברמה מופשטת יותר, על הילד לגלות מהו הדקדוק של השפה שאותה הוא רוכש: מה הם הכללים המאפשרים לנו לחבר מילים למשפטים ומה הן המגבלות השיטתיות על הצירופים האלה. למשל, בשפות מסוימות, כמו עברית, שמות התואר באים לאחר שם העצם שהם מתארים, אך באנגלית הסדר הפוך, ובצרפתית שני הסדרים אפשריים. באנגלית שמות עצם ביחיד חייבים לבוא עם תווית: התווית המיידעת היא the והתווית הלא מיידעת היא a. בעברית יש רק תווית מיידעת, "ה–", בטורקית רק תווית לא מיידעת, וברוסית לא זו ולא זו. תהליך הלמידה הזה מתרחש די מהר ותוצאתו היא ידע לשוני פרודוקטיבי: ילדים יכולים להפיק אינסוף משפטים חדשים, כולל כמובן כאלה שמעולם לא שמעו, וכן להבדיל בין משפטים תקינים למשפטים בלתי תקינים בשפה. למשל, כל ילד בן חמש שרוכש עברית באופן תקין יכול לקבוע שהמשפט "הכלב רדף אחרי חתול" תקין, אבל "חתול אחרי רדף הכלב" אינו תקין.

חומסקי ניסח כללים פורמליים (מתמטיים) כדי לתאר את המבנה התחבירי של שפות טבעיות והראה שהמבנה הזה, שרוב דוברי השפה שאינם בלשנים כלל אינם ערים אליו, חייב להיות חלק מהידע הלשוני של הדוברים. לפיכך יש צורך להבין מהו המנגנון שמאפשר לילדים לרכוש את הכללים האלה על בסיס הקלט שאליו הם חשופים.

הטענה החומסקיאנית היא שלא ניתן לרכוש את הכללים האמורים על בסיס הקלט בלבד . הטענה הזו מתבססת על שתי הנחות. הראשונה היא דלות הגירוי (poverty of the stimulus): הקלט שאליו חשופים ילדים אינו מכיל עדות מספקת למורכבות השפה. ההנחה השנייה היא שילדים אינם מקבלים ראיות שליליות בנוגע למה שאינו תקין בשפה: איש אינו מתקן אותם כאשר הם עושים טעויות דקדוקיות ואיש אינו אומר להם אילו משפטים אינם תקינים בשפה (no negative evidence). איך בכל זאת ילדים מגלים את המבנה הדקדוקי הנכון של השפה שאותה הם רוכשים ומתאוששים מטעויות? תעלומה זו נפתרת בפרדיגמה החומסקיאנית על ידי הנחת ידע לשוני מולד שמגביל ומכוון את הלמידה מהקלט: ילדים מצליחים ללמוד שפה מפני שיש להם מנגנון מולד ללמידת שפה – שנודע באנגלית כ–Language Acquisition Device – שמצייד אותם בידע מבני מופשט ומגביל את מרחב ההשערות האפשרי. המנגנון הזה נקרא לעתים בספרות "איבר השפה" (language organ), או אפילו "גן השפה" (language gene).

הפתרון האלגנטי הזה לבעיה הלוגית של רכישת שפה הוביל את עולם הבלשנות להתמקדות בשאלות מחקר מסוימות: מהו התוכן של אותו ידע לשוני מולד? כיצד הוא מאורגן? ואיך הוא מאפשר למידה של שפות שונות? יתר על כן, הפתרון הזה גם הוליד תחום מחקר שלם שמטרתו להראות את הדמיון המבני בין שפות שעל פני השטח נראות שונות מאוד זו מזו. אם הידע הלשוני מולד בחלקו הגדול, אזי חלקים רבים במבנה התחבירי של כל שפות העולם חייבים להיות זהים.

מה שנחקר הרבה פחות הוא התקפות האמפירית של שתי ההנחות שעליהן מבוססת הבעיה הלוגית. האם הקלט הוא באמת דל מדי ואינו כולל מידע שיאפשר לילד לקבוע אילו משפטים אינם תקינים בשפה? והאם באמת אין היזון חוזר (משוב) שמספק לילד ראיות שליליות ודרך להתאושש מטעויות?

מה ילדים באמת שומעים?

הנחת הידע המולד גרעה מהחשיבות של הקלט בתהליך הרכישה. כתוצאה מכך חוקרים במסורת החומסקיאנית לא בחנו לעומק את הסביבה הלשונית שילדים חשופים אליה. אך בשנים האחרונות הצטברו עדויות רבות לכך שהקלט שאליו נחשפים ילדים הוא עשיר, שיש ביכולתם ללמוד ממנו על אספקטים מבניים של השפה, ושהורים כן מספקים משוב על טעויות, גם אם לא בצורה מפורשת. ביחד, הנתונים הללו מעוררים ספקות לגבי הצורך בהנחת ידע לשוני מולד ולגבי אפיון תהליך הרכישה ככזה שאינו קשור קשר הדוק במה שילדים שומעים.

אחד הכלים העיקריים במחקר זה הוא התוצר של פרויקט בשם CHILDES, שהוקם על ידי בריאן מקוויני באוניברסיטת קרנגי־מלון בפיטסבורג. CHILDES הוא מאגר נתונים ענק שכולל תיעוד של אינטראקציות לשוניות טבעיות בין ילדים ובין ילדים למבוגרים. בפרויקט כלולים נתונים על מעל 25 שפות, כולל עברית. המאגר כולל תעתיקים של שיחות, ובחלק מהמקרים גם הקלטות, ולעתים אפילו סרטונים, המסונכרנים עם התעתיקים, והוא זמין לכל חוקר ללא תשלום. זהו אוצר בלום עבור חוקרי רכישת שפה, שכן הוא מאפשר לבדוק באופן אמפירי טענות תיאורטיות, ולבסס את מסקנות המחקר על אוסף גדול מאוד של ממצאים הנוגעים לילדים רבים ושונים בשלבים מגוונים של ההתפתחות הלשונית שלהם ובשפות שונות. במילים פשוטות, המאגר מאפשר מחקר המבוסס על שימוש ממשי בשפה, ולא על שיפוטים של דוברים (ראו מסגרת על "חולשת מתודולוגיית המחקר").

לפי חומסקי, ילדים מצליחים ללמוד שפה מפני שיש להם מנגנון מולד ללמידת שפה – "איבר השפה" – שמצייד אותם בידע מבני מופשט ומגביל את מרחב ההשערות הלשוניות האפשרי

בשנים האחרונות הצטברו עדויות רבות המראות, בניגוד לפרדיגמה החומסקיאנית, שהקלט שאליו נחשפים ילדים מאפשר להם ללמוד על אספקטים מבניים של השפה

דלות הגירוי

בחלק זה של המאמר נסקור את הביקורות שהועלו נגד התקפות האמפירית של שתי ההנחות שעליהן מתבססת הבעיה הלוגית של רכישת שפה, ונציג פרדיגמה אלטרנטיבית, בלשנות מבוססת–שימוש, הכופרת בצורך להניח ידע לשוני מולד.

האם ילדים יכולים להגיע לידע לשוני מורכב רק על בסיס הקלט שאליו הם נחשפים? זוהי תמצית השאלה של דלות הגירוי, והטיעון החומסקיאני גורס כי התשובה שלילית. נציג את הטיעון בגרסה פשטנית מעט, וניעזר בדוגמה שחומסקי עצמו הציע, המבוססת על משפטי שאלה באנגלית.

הסתכלו על המשפטים הבאים:

1 John is happy
2 Is John happy?
3 The student in the garden is hungry
4 Is the student in the garden hungry?
5 The student who is in the garden is hungry
6 Is the student who is in the garden hungry?
7 *Is the student who in the garden is hungry?

איך ילדים לומדים מהו החוק הנכון ליצירת משפטי שאלה באנגלית? משפט (2) הוא משפט השאלה המתאים למשפט (1), והוא נבדל ממנו בכך שפועל העזר "is" נמצא בתחילת המשפט. גם משפט השאלה (4) נוצר ממשפט החיווי (3) באותה צורה. על בסיס שתי דוגמאות אלה ניתן, לכאורה, לנסח חוק פשוט: על מנת ליצור שאלה, מצא את פועל העזר הראשון במשפט החיווי והעבר אותו אל תחילת המשפט. חוק זה ייצר את המשפטים (2) ו־(4) בצורה נכונה, אך אם נפעיל אותו על משפט (5), נקבל משפט לא תקין באנגלית – משפט (7). אם כך, חייב להיות חוק אחר, וחומסקי מציע את החוק הבא: בשביל ליצור שאלה, העבר לתחילת המשפט את פועל העזר של המשפט העיקרי – להבדיל מהמשפט המשועבד – במשפט החיווי. חוק זה יוצר את משפטי השאלה הנכונים, אך הוא מורכב יותר מהחוק הראשון ונסמך על היכולת להבחין בין משפט עיקרי למשפט משועבד.

הטענה החומסקיאנית היא שילדים משתמשים בחוק הנכון מההתחלה, כלומר הם אינם מפיקים בטעות מבעים כמו משפט (7). הטענה ממשיכה ואומרת כי הם מצליחים לעשות זאת למרות שהם אינם נחשפים למשפטים מורכבים כגון משפט (6) ולמרות שהחוק הנכון מורכב יותר מהחוק הראשון שהצענו. לפיכך, מסיקים החומסקיאנים, חייבת להיות לילד נטייה מולדת להעדיף את החוק המורכב יותר על פני החוק הפשטני, ובכל מקרה חייבת להיות לילד יכולת

מולדת לזהות את המבנה הלשוני של מבעים בתוך הקלט ולהתייחס לישויות כגון "משפט עיקרי", "משפט משועבד" וכדומה.

הטיעון החומסקיאני על דלות הגירוי הותקף מכיוונים רבים. ראשית, יש החולקים על כך שמשפטי שאלה נוצרים באמצעות הפעלת חוקים על משפטי חיווי. שנית, הטיעון מתבסס על שתי הנחות: הראשונה – שילדים באמת אינם מפיקים בטעות משפטים כגון (7), והשנייה – שילדים אינם נחשפים למשפטים כגון (6), שמהם היו יכולים להסיק את החוק הנכון. התוקף האמפירי של שתי הנחות אלה שנוי במחלוקת: ישנן עדויות שילדים כן מפיקים טעויות דומות לזו המופיעה במשפט (7), וישנן עדויות שמשפטים מורכבים כמו (6) – גם אם לא עם אותן מילים – מופיעים בדיבור אל ילדים. בדיקה במאגר CHILDES מראה, לדוגמה, כי המשפט Where is the little blue crib that was in the house before? שהוא בעל אותו מבנה תחבירי כמו משפט (6), מופיע בשיחה עם ילדה בת שנתיים. מעבר לכך, גם אם אכן ניתן להראות שילדים אינם נחשפים בתהליך רכישת השפה למספיק משפטים כגון (6), אין זה אומר שלא קיימים מנגנונים אחרים, כגון אנלוגיה, שיאפשרו להם להסיק את החוק מדוגמאות אחרות.

ההורים מתקנים

הטיעון המקורי של הפרדיגמה החומסקיאנית, העוסק בחוסר ראיות שליליות, הוא ברור: ילדים נחשפים לשפה האופפת אותם, ושפה זו כוללת, מתוך ההגדרה, מבעים תקינים בלבד. לפי טענה זו, אף מורה ואף הורה אינו נותן לילדים לומדים רשימה של משפטים שגויים עם ציון הטעויות בהם. איש גם אינו מתקן באופן מפורש כל טעות שעושים הלומדים בתהליך הרכישה. גם טיעון זה, כמובן, מצריך הסתכלות על אינטראקציות אמיתיות בין ילדים למבוגרים. ואכן, התבוננות בקורפוסים מגלה שילדים דווקא כן מקבלים מידע לשוני עשיר שמדריך אותם באופן עקיף להעדיף מבעים תקינים על פני מבעים לא תקינים.

סוג אחד של מידע הוא ראיות חיוביות. חשיפה לדוגמאות תקינות תוביל לאימוץ הצורה הנכונה ולזניחת הטעות. ואכן, מחקר שבחן את הטעויות שילדים עושים במערכת הנטייה של הפועל הראה שילדים מתאוששים מטעויות יותר מהר עבור פעלים שהם שומעים יותר.

הדרך השנייה שבה ילדים לומדים שעשו טעות היא על ידי משוב עקיף. במחקר שבדק איך הורים מגיבים לטעויות של ילדים באינטראקציה טבעית נמצא שב־60־70 אחוז מהמקרים שבהם ילד עושה טעות דקדוקית ההורה חוזר על המשפט בצורתו הנכונה. דוגמה לכך ניתן לראות בדיאלוג הבא שלקוח מתוך קורפוס של אנגלית:

Child: She goed to heaven
Mother: Oh, she went to heaven, did she?

דוגמה דומה מופיעה בדיאלוג בעברית (מקורפוס רביד): הילדה אומרת "עוד מעט הוא הבן" במקום "עוד מעט הוא הבין", והאם מתקנת בתגובה "עוד מעט הוא הבין?".

שתי הדוגמאות ממחישות את תשומת לב ההורה לטעות ואת המשוב שההורה מספק על ידי חזרה על המבע בצורתו הנכונה. סוג משוב זה נפוץ יותר בגילים צעירים (שנתיים עד שנתיים וחצי), אך מופיע בכל הגילים שנבדקו (שנתיים עד ארבע). יתרה מכך, הורים לא חוזרים על כל מבע שהילד מפיק; הם חוזרים על מבעים עם טעויות בשכיחות גבוהה יותר (67% בין גיל שנתיים לשנתיים וחצי) מאשר על מבעים בלי טעויות (26% באותה קבוצת גיל). נתון זה חשוב משום שאילו הורים היו פשוט חוזרים על כל מבע של הילד, החזרה עצמה לא הייתה יכולה להוות אינדיקציה לנוכחות של טעות. יתרה מכך, הורים מציעים תיקון באמצעות חזרה באותה מידה עבור טעויות פונולוגיות, לקסיקאליות ותחביריות. כלומר, הורים רגישים הן לטעויות במשמעות (למשל, כשהילד קורא לחפץ בשם לא נכון) והן לטעויות דקדוקיות טהורות (למשל, כשהילד משתמש בצורת נקבה לשם עצם בזכר). מתברר, אם כן, שכאשר בוחנים לעומק ובצורה כמותית את הדרך שבה הורים מגיבים לטעויות, מגלים שילדים בהחלט כן מקבלים משוב על מה שאינו תקין בשפה שלהם.

מה שייחודי לבני אדם אינו ידע לשוני מולד, אלא מנגנונים קוגניטיביים כלליים – שאינם ספציפיים לעיבוד לשוני – שמאפשרים לנו להכליל, למצוא מכנים משותפים, לנסח וליישם חוקים ומנגנוני פעולה, לארגן פריטים בקטגוריות, לזהות דפוסים

מחפשים אחר הדפוס: בלשנות מבוססת־שימוש

הרעיון שמבנה השפה והדרך שבה מבנה זה נלמד קשורים קשר הדוק לשימוש בשפה עומד בבסיסה של פרדיגמה בלשנית הנקראת בלשנות מבוססת־שימוש (usage-based). בפרדיגמה זו, שמהווה חלופה משמעותית לפרדיגמה החומסקיאנית, שפה מאופיינת קודם כול כמערכת תקשורת. התחביר – הכללים המופשטים שמאפשרים לנו ליצור אינסוף משפטים חדשים – צומח מתוך השימוש בשפה. החשיפה לקלט מאפשרת לילדים ללמוד מה הם הכללים הרלוונטיים, והידע הלשוני עצמו רגיש לשכיחויות שימוש. ילדים ומבוגרים מפיקים ומבינים מהר יותר ונכון יותר צורות שהם שמעו יותר פעמים. אין הכוונה שלדוברים אין ידע מופשט על מבנה השפה, אלא שהידע הזה והדרך שבה הוא נלמד מבוססים על הכללה ועל למידה מקלט ממשי. בגישה זו, מה שייחודי לבני אדם אינו ידע לשוני מולד, אלא דחפים מולדים לתקשר וכן מנגנונים קוגניטיביים כלליים (domain-general) שמאפשרים לנו להכליל מן הפרט אל הכלל, למצוא מכנים משותפים, לנסח וליישם חוקים ומנגנוני פעולה, לארגן פריטים דומים בקטגוריות, לזהות דפוסים בעולם הסובב אותנו וכו'. הטענה היא כי ניתן להסתפק ביכולות אלה כדי להסביר את היכולת הלשונית של המין האנושי בלי להזדקק ליכולות שהן ספציפיות לעיבוד לשוני.

תהליך הרכישה של הידע הלשוני מאופיין במעבר הדרגתי מידע קונקרטי (למשל של הצירוף "לא בא לי") לידע מופשט יותר (למשל, איך עובדת שלילה בעברית). ילדים משתמשים במנגנוני למידה סטטיסטיים כדי ללמוד על מבנה השפה שאליה הם חשופים. לדוגמה, הסבירות ששתי הברות יופיעו ביחד יותר גבוהה בתוך מילים מאשר בין מילים. תינוקות בני שמונה חודשים יכולים להשתמש במידע הזה כדי לחלק רצף דיבור בשפה חדשה למילים. ילדים יכולים להשתמש באינפורמציה התפלגותית (distributional) כדי ללמוד גם על חלקי הדיבר בשפה, סדר המילים ועוד. ילדים לומדים את החוקים הנכונים באופן הדרגתי על ידי הפשטה והכללה ממבעים שאליהם נחשפו. למידת התחביר רגישה לשכיחויות בקלט, כך שמבנים תחביריים שכיחים יותר יילמדו מוקדם יותר. אפילו בתוך אותו מבנה תחבירי ניתן לראות את השפעת הקלט – לילדים יהיה קל יותר להפיק מבנים תחביריים עם פעלים שמופיעים בצורה תדירה במבנה זה.

הבלשנות מבוססת־השימוש נבדלת מהפרדיגמה החומסקיאנית לא רק בהנחות המולדות, אלא גם באופן שבו מאופיינים תהליך הרכישה והידע הלשוני של הדובר. להבדיל מהמודל החומסקיאני המסורתי, בלשנות מבוססת־שימוש אינה עושה אבחנה ברורה בין הלקסיקון (המילון המנטלי) לדקדוק (החוקים שמאפשרים לנו ליצור צירופים מורכבים יותר). ההנחה היא כי כל הגירויים הלשוניים – בין אם אלה הגאים, מילים או רצפי מילים – מיוצגים על ידי הדובר ומעובדים על ידי אותו מנגנון קוגניטיבי. לדעת שפה משמעו להכיר דפוסים לשוניים בגדלים וברמות הפשטה מגוונים. אחת העדויות לכך היא העובדה שדוברים רגישים לשכיחות של יחידות לשוניות מסוגים שונים: לא רק הגאים ומילים, אלא גם רצפי מילים.

התבוננות בקורפוסים מגלה שילדים דווקא כן מקבלים מידע לשוני עשיר שמדריך אותם באופן עקיף להעדיף מבעים תקינים על פני מבעים לא תקינים

הבלשנות מבוססת־השימוש זוכה בעשרים השנה האחרונות לפריחה תיאורטית ואמפירית. יש יותר מודלים בלשניים ששמים דגש על הדרך שבה שימוש מעצב מבנה, יותר תיאוריות תחביריות שבהן החוקים עצמם רגישים לשכיחויות שימוש ויותר נתונים שמאששים את הטענות על הקשר ההדוק בין שימוש, ייצוג ורכישה. הבדיקה האמפירית של ההנחות החומסקיאניות לגבי רכישת שפה והעדויות המצטברות על ההשפעה של הקלט על תהליך הרכישה הובילו לפיתוח תחומי מחקר חדשים. אחד מהם הוא ההשפעה של מעמד סוציו־אקונומי על רכישת שפה. הדגש על ידע לשוני מולד הוביל להתעלמות מההשפעה של איכות הקלט וכמותו על תהליך הרכישה. בשנים האחרונות מצטברות עדויות לכך שילדים ממעמד סוציו–אקונומי נמוך חשופים לפחות קלט לשוני, ושדבר זה משפיע על ההתפתחות הלשונית המוקדמת וכן על עיבוד שפה מאוחר יותר. ההבנה של הפערים הללו ושל האופן שבו הם משפיעים על היכולת הלשונית היא קריטית בפיתוח תוכניות התערבות. עם זאת, הפרדיגמה ניצבת בפני אתגרים רבים. בתחום הרכישה, על הפרדיגמה לפתח מודל מדויק יותר של האופן שבו ילדים עושים הכללות על בסיס הקלט שהם שומעים. מודל זה צריך להסביר איך ילדים מגיעים להכללות דומות (ומופשטות) על בסיס קלט שונה.

הרעיון, אם כן, שיש צורך בידע לשוני מולד על מנת להסביר איך ילדים רוכשים שפה מבוסס על מספר הנחות שתקפותן האמפירית שנויה במחלוקת. מחקר עכשווי כמותי, שמתייחס לקלט שילדים

מקבלים ולפלט שאותו הם מפיקים, תומך במודל אלטרנטיבי, שבו ידע לשוני נובע מחשיפה ומניסיון. במקום ידע לשוני ספציפי, די להניח כישורים קוגניטיביים כלליים. הפרדיגמה של בלשנות מבוססת־שימוש היא חסכונית יותר, מצריכה הנחות כלליות יותר ומסבירה באופן נאות יותר את ממצאי המחקר המודרני.

יותר דומות או יותר שונות?

אם בכל זאת נניח שהיכולת הלשונית היא מולדת ושיש למין האנושי מנגנונים שהתפתחו באופן ספציפי לצורך יכולות לשוניות, נגיע למסקנה מפתיעה: מההנחה נובע שלשפות העולם יש בהכרח רכיבים משותפים רבים. ג'וזף גרינברג, בשורת עבודות משנות השישים של המאה הקודמת, טבע רשימות של מאפיינים משותפים כאלה, שביחד קיבלו את השם "אוניברסלים לשוניים". למעשה, הטענה של הבלשנות החומסקיאנית הייתה קיצונית עוד יותר. בספרו המפורסם "האינסטינקט הלשוני" טוען סטיבן פינקר כי על פי חומסקי, "מבקר מהמאדים היה בוודאי מסיק כי פרט לאוצרות המילים הנבדלים שלהם, מדברים כל תושבי כדור הארץ שפה אחת". במשך כמה עשורים עמלו בלשנים בפרדיגמה החומסקיאנית על ניסוח אותן תכונות "אוניברסליות" של שפות העולם. רשימה אחת מפורסמת נכללת במאמר מצוטט רבות של פינקר ובלום מ־1990, אבל זו אך דוגמה אחת מני רבות.

בשנים האחרונות מתערער מעט המעמד של "אוניברסלים לשוניים", ובכל זאת כדאי לתת את הדעת הן לטענה המקורית והן לטענות נגד התוקפות אותה. הפסקאות הבאות מסתמכות על מאמרם של ניקולס אבנס וסטיבן לוינסון מ־2009, שעורר תהודה רבה בקהילה הבלשנית. הביקורת הראשונה שמועלית במאמר היא שרוב האוניברסלים הלשוניים נוסחו תוך הסתכלות על מספר מצומצם של שפות. גרינברג, בעבודתו החלוצית, בחן כ־30 שפות. אלא שמספר

חולשת מתודולוגיית המחקר

כל ניסיון לאפיין שפה טבעית ולבדוק את תקפותה צריך להגדיר באופן כלשהו את קבוצת המבעים התקינים בשפה, ולהבדיל ביניהם לבין אלה שאינם תקינים. שנים ארוכות נהגו חוקרים בפרדיגמה החומסקיאנית להשתמש בשיפוטי דוברים כדי לבחון את התקינות הדקדוקית של משפטים. הרעיון הבסיסי הוא שלדוברים יש ידע מובלע על התחביר של השפה שאותה הם דוברים, וידע זה מאפשר להם לקבוע אילו משפטים תקינים ואילו לא. מטרה נוספת היא להבחין בין תקינות תחבירית – שלפיה ינוסחו חוקי התחביר – לבין תקינות (או סבירות) סמנטית – שמשפיעה על עיבוד שפה אך אינה חלק מהתחביר במסורת החומסקיאנית.

דוגמה מפורסמת של חומסקי (שמתורגמת פה לעברית) ממחישה את ההבדל בין סוגי המשפטים. אין חולק שמשפט (1) – "צפרדעים ירוקות קטנות מקרקרות בהתלהבות" – הוא משפט תקין בעברית. משפט (2) – "רעיונות ירוקים חסרי־צבע ישנים בזעם" – שהוא בעל אותו מבנה תחבירי, הוא תקין מבחינה תחבירית למרות שהוא חסר משמעות (לרעיונות אין צבע, ואם משהו הוא ירוק הוא בהכרח לא חסר צבע). לעומת זאת, משפט (3) – "בזעם ישנים חסרי־צבע ירוקים רעיונות" – שגם הוא חסר משמעות, נתפש כלא תקין. ההשוואה בין המשפטים ממחישה את ההבדל בין תקינות תחבירית למשמעות סמנטית.

אם כך, היכולת להבחין בין משפטים תקינים (1 ו־2) ללא־תקינים (3) היא תנאי הכרחי לניסוח של תיאוריות לשוניות ולבדיקה של תקפותן. הרעיון שתקינות דקדוקית היא אבחנה בינארית – כלומר יש להבחין רק בין משפטים תקינים ללא תקינים – ושלדוברים יש גישה לידע הזה, הוא רעיון שנוי במחלוקת. ישנם בלשנים שכופרים ביכולת להבחין ביניהם בצורה קטגורית. גם אם נקבל את תקפות ההבחנה, השאלה היא כיצד יש לעשות אותה: מה הם הכלים המתודולוגיים הדרושים לשם כך?

מחקר רב במסורת החומסקיאנית התבסס על אינטרוספקציה: הבלשן מסתמך על שיפוטיו שלו בשפת האם שלו, או על שיפוטים שנעשים על ידי דוברים ילידיים של שפות אחרות, כדי לנסח את החוקים התחביריים של השפה. שיפוטים של דוברים ילידיים אינם פסולים כשלעצמם ככלים מתודולוגיים, אלא שיש צורך להתייחס אליהם כאל ניסוי מדעי לכל דבר, שצריך להתרחש בתנאי ניסוי: עם מספר הולם של גירויים (כלומר הרבה משפטים מאותו מבנה תחבירי), עם מספר הולם של נבדקים (שאינם כוללים את החוקר עצמו), עם משתתפי מחקר שנבחרים בקפדנות ואינם יודעים מהי ההיפותזה של הנסיין, ועם בקרה קפדנית על משתנים מתערבים כגון שכיחות, סבירות וכו'. בשביל להסיק מסקנות תקפות על מה תקין ומה לא תקין בשפה יש לוודא שהשיפוט של הדוברים אינו מושפע מגורמים לא תחביריים, למשל סמנטיקה, או משכיחות המילים במבעי הדוגמה.

בשנים האחרונות יש עיסוק נרחב יותר באספקטים המתודולוגיים של כלי השיפוט וניסיון לפתח כלי שיפוט תקפים יותר, אך יש עדיין בלשנים רבים המסתמכים על שיפוטים שתקפותם המתודולוגית אינה ברורה.

המחקר החלוצי על אוניברסלים לשוניים בחן 30 שפות, בעוד שמספר השפות החיות בעולם כעת הוא אלפים רבים, ועל רובן ידוע לנו מעט מאוד. ההסתכלות על טווח רחב יותר של שפות מעלה ספק לגבי הרבה מהאוניברסלים הלשוניים

השפות החיות בעולם כעת הוא אלפים רבים (קשה להגיע למספר מדויק, שכן ההגדרה של שפה, להבדיל מדיאלקט או מניב, היא בעייתית), ועל רובן ידוע לנו מעט מאוד. יתרה מזאת, השפות החיות כיום הן קצהו של קרחון: אלפים רבים מאוד של שפות נכחדו מן העולם, ומאחר שלרובן המכריע לא היה כתב, לא נותרו מהן שריד וזכר. ההסתכלות על טווח רחב יותר של שפות מעלה ספק לגבי הרבה מהאוניברסלים הלשוניים.

אוניברסלים לשוניים רבים עוסקים בתכונות הפונולוגיות של שפות, כלומר בהגאים ובצלילים המאפיינים שפה דבורה. אין חולק על כך שאברי הדיבור והשמיעה שלנו התפתחו אבולוציונית, וברור גם שהם מטילים מגבלות ברורות על מגוון הצלילים שיכולים לשמש בתקשורת מילולית. ולמרות זאת, יש מגוון עצום של צלילים ששפות דבורות משתמשות בהם. יתר על כן, מספר ההגאים המשמעותיים, הפונמות, גם הוא שונה מאוד משפה לשפה, ויכול להיות מינימלי (כעשרה) או גדול בהרבה (מעל 140). התקווה המקורית של החומסקיאנים הייתה שאפשר יהיה לאפיין את אוסף ההגאים של כל שפה באמצעות מספר קטן של פרמטרים, כך שכל שילוב אפשרי של ערכיהם יפיק את אוסף הצלילים של מספר שפות, ושום שפה לא תתאפיין באוסף צלילים אחרים. תקווה זו מתבדה ככל שמתגלים נתונים חדשים על שפות חדשות. באופן הקיצוני ביותר, מתברר שיש שפות טבעיות רבות שאין להן צלילים כלל. אלה הן כמובן שפות הסימנים של קהילות החירשים בעולם. בכל מובן אפשרי, שפות סימנים הן שפות טבעיות לחלוטין, הן מאפשרות תקשורת בדיוק באותה רמת מורכבות של שפות דבורות והן מתאפיינות בכל התכונות המוכרות של שפות דבורות – אלא שמדיום התקשורת הוא סימון, ולא דיבור.

עיקר החיפוש אחר אוניברסלים לשוניים נעשה בתחום התחביר. אחת הטענות המרכזיות הייתה שבכל שפה מתחלקות המילים למחלקות של חלקי דיבר, הכוללות לפחות את ארבע המחלקות העיקריות – שם עצם, פועל, שם תואר ותואר הפועל. הטענה בדבר ארבעת חלקי הדיבר העיקריים איננה עומדת במבחן המציאות: מוכרות שפות רבות שבהן אין תארי פועל, ואף שפות שבהן שמות התואר מתקבלים ישירות מפעלים. אך אפילו המפלט האחרון, האבחנה הבסיסית בין שמות ובין פעלים, מפוקפק: יש שפות שבהן האבחנה הזאת מעומעמת, ואפשר בקלות להיווכח שגם בעברית צורת הבינוני מטשטשת את האבחנה בין שמות לפעלים. למשל, מטפס מתפקד בתור פועל במשפט "יונתן מטפס על העץ", אך בתור שם עצם במשפט "המטפס הגיע אל פסגת ההר", ובתור שם תואר במשפט "קניתי צמח מטפס לגינה". למילים כאלה יש גם תכונות של פעלים, כמו נטיות בזמן, וגם של שמות, כמו צירוף ה' הידיעה. יתר על כן, כשבוחנים בעיון שפות נחקרות פחות, מתגלים חלקי דיבר חדשים, שאינם קיימים בשפות אירופיות, ולכן לא זכו למעמד היוקרתי של ארבע המחלקות העיקריות.

ללא הסכמה על מחלקות חלקי הדיבר, קשה מאוד לנסח אוניברסלים תחביריים, שכן חוקי התחביר מתייחסים בראש ובראשונה למחלקות אלה. למשל, טענה מפורסמת נוספת קובעת כי בשפה שבה סדר הרכיבים העיקרי הוא כזה שבו הפועל קודם לנושא והנושא קודם למושא, יופיעו מילות היחס לפני, ולא אחרי, הצירוף השמני. עצם ניסוח הטענה מניח שניתן לקבוע בכל שפה מהו הפועל, מהו הנושא, מהו המושא, מה הן מילות היחס ומה הם צירופים שמניים. כאמור, כל ההנחות הללו אינן מתקיימות, לפחות לא באופן אוניברסלי.

הדיון המדעי בנושא האוניברסליות של הדקדוק – ולכל הפחות של חלק ממנו – עדיין בעיצומו, אולם התמונה העולה ממנו שונה מאוד מהתמונה שעיצבה את עולם הבלשנות החומסקיאנית. שפות העולם רבות, שונות ומגוונות, בדיוק כפי שנראה לעין הבלתי מזוינת של הדיוטות. אלפי השפות המוכרות כיום, ובסבירות גבוהה גם אלפי השפות שקדמו להן, נבדלות זו מזו כמעט בכל אספקט אפשרי: באוצר ההגאים, במנגנונים המורפולוגיים, במבנים התחביריים וכו'. השונות הלשונית הזאת דומה מאוד לשונות ביולוגית, ויכולה להיות מוסברת באמצעות מנגנונים אבולוציוניים ותרבותיים. ✕

תודות: לנורית מלניק ונעמי הברון על ההערות המאירות

צד ב': שפה מולדת

אין די בכלֵי הלמידה הסטטיסטית כדי להסביר את כל היכולות הלשוניות שמפגינים ילדים, כמו גם דפוסים אוניברסליים בשפה. תשובה לצד א' האנטי־חומסקיאני, על נחיצות המנגנון הלשוני המולד

פרופ' עידן לנדו

ענבל ארנון ושולי וינטנר מציגים יפה את הפולמוס בין הבלשנות הגנרטיבית לבין בלשנות מבוססת־שימוש. הפולמוס הזה מתנהל בכמה חזיתות, ובמאמר התגובה הנוכחי אתייחס לחמש מהן, כפי שהן מוצגות במאמרם של ארנון ווינטנר.

1. האם די בקלט "עשיר" לרכישת כללי התחביר?

ארנון ווינטנר טוענים שבניגוד לטענת המחקר הגנרטיבי, ילדים נחשפים למשפטים מורכבים ביותר המאפשרים להם לזהות את הכלל התחבירי הנכון ולפסול אלטרנטיבות שגויות. משפטים כמו (1) מופיעים בקורפוס מתועד של דיבור אל ילדים, והם יכולים להצביע על כך שהשאלה שנגזרת ממשפט החיווי (2) תהיה (3) ולא (4).

1. Where is the little blue crib that was in the house before?
2. The student who is in the garden is hungry.
3. Is the student who is in the garden ___ hungry?
4. *Is the student who ___ in the garden is hungry?

הטענה הזאת לוקה הן בהבנת הבעיה הלוגית והן בהערכת האתגר האמפירי. מבחינה לוגית אין די במשפטים כגון (1) כדי לפסול אפשרות שילדים יבטאו משפטים כגון (4). באופן כללי יותר, בהינתן שני כללים תחביריים A ו־B, משפט קלט שבמקרה מתיישב עם A עדיין אינו יכול לפסול את האפשרות שהכלל התחבירי שמוטמע בדקדוק המנטלי של הדובר הוא "A או B"; כך שבסיטואציות אחרות B יפעל ולא A, ויתקבלו שאלות לא דקדוקיות כמו (4)[1]. ובקצרה: קלט חיובי אף פעם אינו יכול להצדיק ידיעה ודאית שכלל דקדוקי פוטנציאלי הוא שגוי. אבל ידיעה כזאת, ביחס לאינספור כללים פוטנציאליים, היא מנת חלקו של כל דובר ילידי, ואם כך, היא מעבר להישג ידה של בלשנות מבוססת־שימוש.

מבחינה אמפירית לא השכילו ג'פרי פולום וברברה שולץ – שארנון ווינטנר צועדים בעקבותיהם – לייצג נכונה את הטווח האמיתי של המגבלה על יצירת שאלות באנגלית. זאת משום שאותה מגבלה מסבירה לא רק הבדלי דקדוקיות, אלא גם הבדלי משמעות[2]. שינויים קלים בדוגמאות יבהירו זאת.

5. Eagles that fly can eat.
6. Eagles that can fly eat.
7. Can eagles that fly eat?
8. Can eagles that fly ___ eat?
9. *Can eagles that ___ fly eat?

איור: רועי אופנהיים

על פי השערה מרתקת בחקר רכישת השפה, כל הטעויות של הילד הן בתחום הדקדוק האוניברסלי. כשילד "טועה" הוא מדבר שפה אחרת – אבל תמיד שפה אנושית

ילדים שרוכשים אנגלית יודעים שהשאלה ב־(7) איננה דו־משמעית, ויכולה להיגזר רק ממשפט החיווי (5) ולא מ־(6) (מדובר על יכולת אכילה, לא על יכולת תעופה); מיקומו המקורי של המודאל "can" חייב להיות זה שמסומן ב־(8) ולא ב־(9). שימו לב שזאת כבר אבחנה שונה מזו שבין (3) ל־(4): כאן לא מדובר על משפט דקדוקי לעומת משפט לא דקדוקי, אלא על משפט אחד, (7), שיש לו רק אחת משתי משמעויות שניתן היה לייחס לו, בהינתן (5) ו־(6). איזה סוג קלט, "עשיר" ככל שיהיה, יכול להנחות את הילד שהמשמעות הפוטנציאלית, המיוצגת ב־(9), נעדרת בפועל ממשפט (7)? ככל הידוע לי, אין שום מודל רכישה מבוסס–קלט שמסוגל להניב תוצאה כזאת. אך כל בר דעת יבחין מיד שמבחינת הכלל הדקדוקי המבוקש העובדה הזאת היא בדיוק אותה עובדה שראינו קודם לכן: כלל יצירת השאלה מזיז את פועל העזר/המודאל שבמשפט העיקרי. כאן נחשף ההבדל המהותי בין כללים סימבוליים, שמנוסחים בשפת הניתוח התחבירי, לבין "כללים" שאינם אלא שיקוף של סדירויות סטטיסטיות, לא פעם מקריות ושטחיות.

2. האם ילדים מקבלים משוב שלילי ("תיקון טעויות")?

ארנון ווינטנר מצטטים מחקרים שמראים כי הורים נותנים משוב עקיף, בדמות חזרה על משפט לא תקין שאמר הילד באופן תקין, ועושים זאת הרבה יותר מאשר לאחר משפטים תקינים שאמר הילד. זהו ממצא מעניין, אך לא ברור שהוא מהווה משוב שלילי במשמעות המוכרת מתורת הלמידה. משוב שלילי סטנדרטי מסמן עבור הלומד שמשפט מסוים שהוא הפיק איננו דקדוקי. סימון יחידי כזה, חד־פעמי, צריך להיות סיבה מספקת להערכה מחדש של הדקדוק, ולהניע שינוי מסוים באחד הכללים או בכמה מהם. אך בפועל, כפי שעולה ממחקרים קלאסיים – וידוע לכל הורה לילד – ילדים אינם משתמשים במשוב עקיף, ואפילו לא במשוב שלילי מפורש, באופן כזה. התרחיש שבו ילד מקבל תיקון – בין אם מפורש ובין אם מובלע – ומיד חדל מהפקת משפטים לא תקינים מן הסוג שגרר את התיקון, הוא תרחיש דמיוני. ילדים ממשיכים לטעות זמן ממושך, גם לנוכח תיקונים, עד שבשלב כלשהו – שעיתויו לא פעם מסתורי – הם חדלים מן הטעות. בתרחיש השכיח הזה קשה הרבה יותר להסיק שדווקא התיקונים, ולא איזשהו מנגנון הבשלה פנימי, הם שחוללו את השינוי בהתנהגות הלשונית הנצפית של הילד. מסקנה: העובדה שהורים רגישים לטעויות דיבור של ילדים וגם מתקנים אותן לא אומרת כלום לגבי הנגישות הקוגניטיבית של התיקון הזה לתהליך הרכישה של הילד.

נקודה עקרונית יותר היא שתפיסת הרכישה כתהליך אינדוקטיבי איננה מסוגלת להסביר ממצא מאוד דרמטי ברכישת שפה: טווח

הטעויות בדיבור של ילדים מצומצם מאוד. יש אינסוף סוגים של טעויות שילדים היו יכולים לבצע אבל בפועל הם לא מבצעים. כיוון שאוזננו כרויה לחריג ולא לרגיל – תכונה בסיסית של מערכות קוגניטיביות – הטעויות הן שלוכדות את תשומת לבנו, וכך נשכחת העובדה שגם בבסיסן מצויה סדירות דקדוקית מפליאה. כשילד אומר "חלונות גבוהות" הוא פשוט מפעיל כלל התאם סטנדרטי, שדווקא בעברית המודרנית יש לו חריגים לא מעטים. במקרה זה, וברבים אחרים, הילד דווקא מתחיל מידיעה של כלל דקדוקי ופשוט צריך להגביל את חלותו. להבדיל, ילדים שרוכשים עברית לא יפיקו צירופים שמניים כמו "גבוהות חלונות" או "גבוהים חלונות"; ואף ילד, באף שפה, לא יפיק צירופים שמניים כמו "שלושת האלה הגבוהים החלונות". על פי אחת ההשערות המרתקות בחקר הרכישה בימינו, כל הטעויות של הילד הן בתחום הדקדוק האוניברסלי. במילים אחרות, כשילד "טועה" הוא בעצם מדבר שפה אחרת – במילים של השפה שלו – אבל תמיד הוא מדבר שפה אנושית.

כיצד יודע הילד להימנע מטעויות מסוימות ולא מאחרות? מודל הבלשנות מבוססת־השימוש אינו משיב על שאלה זו. גם אם משוב שלילי הוא המנגנון שמסנן החוצה מבעים לא דקדוקיים, אין לו כל תפקיד בנוגע לטעויות שלעולם אינן נצפות. כשמביאים בחשבון את כלל מרחב הטעות האפשרי, חלקו של המשוב השלילי מתגמד לגמרי.

3. האם די בלמידה סטטיסטית / אנלוגיה / הכללה?

הרעיון ששפה נרכשת כמו כל גוף ידע אחר, באמצעות מנגנונים כלליים של אינדוקציה, אנלוגיה והכללה, הוא רעיון עתיק מאוד בחשיבה האמפיריציסטית. המודלים של למידה סטטיסטית, שמחלצת סדירויות מן הקלט, אינו אלא עיבוד עכשווי לרעיון הזה. אך העיבוד הזה מעורר בדיוק את אותן בעיות שבלשנים רציונליסטיים, כמו חומסקי, הצביעו עליהן כבר לפני חמישה עשורים. וראוי לציין ששפה אינה ייחודית כאן; מגוון שלם של יכולות קוגניטיביות מעוגנות בבסיס מולד (זיהוי פרצופים, תכונות של תפיסת עצמים כמו קביעוּת, גודל וקשיחות, תפיסה מוזיקלית ועוד).

ראשית, כדאי להפריך מיתוס נפוץ: בלשנים גנרטיביים אינם טוענים שאין שום למידה סטטיסטית בשפה. צריך רק לחזור אל כתביו המוקדמים של חומסקי כדי לראות שגם הוא הציע מנגנון סגמנטציה (קיטוע) של רצף הדיבור ליחידות לשוניות על בסיס הסתברותי. השאלה המשמעותית היא האם מנגנון פשוט כל כך יכול לרכוש כללי דקדוק מופשטים, ולא רק לספק לילד את אבני הבניין הבסיסיות של הניתוח הבלשני. חרף ההצהרות החוזרות ונשנות במחנה הלמידה הסטטיסטית, אין עדיין הישגים משמעותיים בתחום הזה. המסקנות של הדיון בכלל יצירת השאלה באנגלית, בתחילת המאמר, משקפות את המצב בכללותו.

אבל יש עניין עקרוני עוד יותר שחסידי הלמידה הסטטיסטית מתעלמים ממנו. דוברים מסוגלים להבחין בין מבעים שהסתברותם דומה מאוד או אפילו שואפת לאפס. ארנון ווינטנר מצטטים דוגמה מפורסמת של חומסקי כדי לתקוף את מעמדם של שיפוטי האינטרוספקציה ("רעיונות ירוקים חסרי־צבע ישנים בזעם"), אך משאירים על כנה את החידה שמציבה הדוגמה. הנה דוגמאות מקבילות בעברית:

10. הנזיר היקפי איננו נוזל לסירוגין.
11. אין הנזיר ההיקפי נוזל לסירוגין.
12. איזה נזיר איננו נוזל לסירוגין?
13. *איזה נזיר אין נוזל לסירוגין?

ניתוח סטטיסטי של כל קורפוס בעברית יראה שכל המשפטים הללו הם בעלי שכיחות אפסית או אפילו לא קיימת. והנה, אף כי אנו מכירים בכך ש־(10) ו־(11) דקדוקיים באותה מידה, וגם חסרי פשר באותה מידה, ניתן ליצור את שאלת הנושא ב־(12) מ־(10) אבל לא את זו שב־(13) מ־(11). כל ארבעת המשפטים חסרי פשר, בעלי הסתברות אפסית, ובכל זאת ישנו הבדל דרמטי בין (13) לכל האחרים, וכל דובר ילידי יודע שרק (13) איננו משפט בעברית. שום ניתוח סטטיסטי אינו יכול להסביר את השיפוט הזה, שכן הסתברויות המופע של המשפטים אינן נבדלות. וגם למידה באנלוגיה תיכשל כאן, שהרי אם (11) אנלוגי ל־(10), (13) היה אמור להיות אנלוגי ל־(12).

ילדים ממשיכים לטעות, גם לנוכח תיקונים, עד שבשלב כלשהו, שעיתויו לא פעם מסתורי, הם חדלים מן הטעות. קשה להסיק שתיקוני ההורים הם שחוללו את השינוי ולא איזשהו מנגנון הבשלה פנימי

הבעיה העמוקה יותר שחסידי הלמידה בדרך האנלוגיה וההכללה מטאטאים מתחת לשטיח: אם הילד מחלץ סדירויות מן הקלט, מנין הן הגיעו אל הקלט?

יתרה מזאת, גם ייצוג של המבנים כרצף של חלקי דיבר – שם עצם, מילת שלילה, פועל וכו' – לא יצליח ללכוד את ההבדל, שכן (12) ו־(13) אינם נבדלים כלל בחלקי הדיבר שלהם. יש להדגיש שדוגמאות כאלה אינן אקזוטיות או נדירות, אלא מהוות את "הלחם והחמאה" של המחקר הבלשני. הסיבה שהבלשנים הגנרטיביים כל כך ספקנים כלפי למידה סטטיסטית כמנגנון הסברי נעוצה בדיוק בפער הזה בין העבודה האמפירית שלהם לבין היומרות של המודל הסטטיסטי.

ולבסוף, הבעיה העמוקה יותר שחסידי הלמידה בדרך האנלוגיה וההכללה מטאטאים מתחת לשטיח: אם הילד מחלץ סדירויות מן הקלט, מנין הן הגיעו אל הקלט? הדעת נותנת שאותם הורים שמספקים את הקלט לילד היו פעם ילדים בעצמם, ופיתחו את השפה שלהם על בסיס סדירויות דומות בקלט שקיבלו מהוריהם. ושוב נשאלת השאלה – מנין הסדירויות בקלט של הדור הקודם? המודל שארנון ווינטנר מציעים אינו עונה על השאלה הזאת, ולכל היותר יכול רק להסיג אותה ברגרסיה אינסופית. לעומתו, המודל הגנרטיבי טוען שמקור הסדירויות בקלט של הילד, בקלט של הוריו, ולמעשה בכל השפות האנושיות, הוא אחד: הדקדוק האוניברסלי הטבוע מלידה (עוד על כך, בנקודה הבאה).

4. האם יש אוניברסלים לשוניים?

כפי שארנון ווינטנר מציינים, אחת המסקנות המעניינות ביותר של הבלשנות הגנרטיבית היא קיומם של אוניברסלים לשוניים. מסקנה זו עוררה פולמוס רב. לטענת הספקנים, ככל שאנו לומדים על עוד ועוד שפות, כל המועמדים לאוניברסלים לשוניים מודחים ממעמדם, ונראה שאין כמעט בסיס משותף לכל השפות. מיד נשוב לטענה הזאת, אבל לפני כן כדאי להבהיר שטענה נוספת של ארנון ווינטנר, שלפיה אי אפשר להסיק על אוניברסלים לשוניים כיוון ששפות רבות כבר נכחדו ולא הותירו זכר, היא טריוויאלית. באותה מידה ניתן להטיל ספק בנכונותן של תיאוריות בזואולוגיה, כיוון שבעלי חיים רבים נכחדו ללא זכר, או של תיאוריות באסטרופיזיקה, כיוון שאינסוף כוכבים ועצמים בחלל נמצאים מחוץ לתחום חקירתנו. בכל המקרים הללו אנו ניצבים בפני אותה עובדת יסוד: התיאוריות שלנו נשענות על אוסף חלקי, אולי קטן מאוד, של נתונים. זהו גורלו של המדע בכלל (הפילוסופים מכנים זאת "תת־היקבעות התיאוריה על ידי העובדות"), וטענות אוניברסליות בבלשנות אינן חשופות לקושי הזה יותר מטענות אוניברסליות בכל תחום חקירה אחר.

מבט מעמיק יותר בתיאוריה הגנרטיבית יבהיר מדוע קשה לאתר אוניברסלים לשוניים. אותו רכיב שמוטמע ביולוגית בבני אדם ומאפשר להם לפתח שפה – הדקדוק האוניברסלי – מכיל עקרונות מאוד כלליים ומופשטים. העקרונות האלה מגדירים מה הן פעולות הדקדוק הבסיסיות – צירוף, החלפה, מחיקה וכו' – ומה הן המגבלות עליהן. אך עקרונות אלה אינם פועלים בוואקום, אלא באינטראקציה עם שפות ספציפיות, ובכל שפה שכזאת קיימים כללים מקומיים וכמובן גם אוצר מילים ייחודי. שרשרת האינטראקציות הזאת גורמת לכך שהקלסתר האוניברסלי שניצב מאחורי כל השפות אינו ניכר לעין באופן מיידי.

בלשנים גנרטיביים אינם טוענים שאין שום למידה סטטיסטית בשפה. צריך רק לחזור אל כתביו המוקדמים של חומסקי כדי לראות זאת

יחד עם זאת, אין זה נכון שהבלשנות הגנרטיבית לא הצליחה לאתר אוניברסלים לשוניים אמיתיים. נבחן היבט תחבירי אחד שארנון ווינטנר מזכירים – סדר מילים – ונתמקד באפשרויות בתוך הצירוף השמני. צירוף כמו "חמישה תפוחים אדומים אלה" מורכב מארבע קטגוריות דקדוקיות: שם מספר (חמישה), שם עצם (תפוחים), שם תואר (אדומים) וכינוי רומז (אלה). מבחינה קומבינטורית, אפשר לסדר את ארבע הקטגוריות האלה ב־24 סדרים אפשריים. למעשה, מתוכם, רק 14 סדרים מופיעים בשפות העולם, טענה שמבוססת על סקירה של מאות רבות של שפות מכל קצות תבל[3]. היעדרם של כמעט מחצית מן הסדרים האפשריים איננה יכולה להיות מקרית, ואכן, היא נובעת מעקרונות התחביר האוניברסלי. במקרה זה, כמו במקרים רבים אחרים, האוניברסל הלשוני מתגלה באופן שלילי – הוא מנבא אילו דפוסים לשוניים ייעדרו מכל השפות.

אוניברסלים מתגלים גם ברמה הלקסיקלית והמורפולוגית. לכל שפה ישנו לקסיקון פונקציונלי, שבו מאוחסנים כל האלמנטים הדקדוקיים של השפה: מוספיות שגוזרות מילה אחת מרעותה, סימני זמן, מילות שעבוד ויחס, קשרים לוגיים וכיוב'. כשבוחנים את טווח המושגים שמקוּדד באופן הזה בדקדוק, מגלים חפיפה לא מעטה בין שפות העולם, אף כי יש גם שונות רבה (למשל, בטיבטית מוצמד לכל פסוקית סמָן evidentiality, שמציין את סוג הראיה לנכונותה, ובעברית כמובן אין סימון כזה). ובכל זאת, ישנם אינספור מושגים, חשובים מאוד מבחינה קוגניטיבית וחברתית, שאינם מקוּדדים בדקדוק של אף שפה. למשל, באף שפה אין סימון דקדוקי של רגשות כמו אהבה או סלידה, באף שפה אין נטיית פועל או שם שמציינת האם הפעולה או העצם חוקיים או לא חוקיים, וכן הלאה והלאה. הפער הזה, בין העולם המושגי בכללותו לבין האוסף המצומצם של מושגים שהשפה בוחרת לבטא באופן מפורש, ניתן להסבר באמצעות הדקדוק האוניברסלי, שבו נקבע האוסף הזה. מי שכופר בקיומו נאלץ לייחס את הפער לכל מיני סיבות "פונקציונליות" שקשה מאוד להצדיק באופן בלתי תלוי.

5. האם שיפוטים דקדוקיים ("אינטרוספקציה") אינם אמינים מתודולוגית?

תלונה שכיחה שמועלית כלפי בלשנים גנרטיביים היא שהסתמכותם הבלעדית על שיפוטי דקדוקיות, שלעתים קרובות לקוחים ממספר מצומצם של דוברים, איננה עומדת בקריטריונים מדעיים מקובלים של תיקוּף אמפירי. ארנון ווינטנר חוזרים על התלונה הזאת, אך דומה שבמקרה זה הפוסל במומו פוסל: הם אינם מציגים ראיות שאכן מדובר במתודולוגיה בעייתית.

למעשה, הרוב המכריע של הנתונים האמפיריים שמעניינים בלשן גנרטיבי ממוצע אינם מצריכים שיטות מחקר סטנדרטיות של מדעי החברה. קחו למשל את המשפטים (4) ו־(13) שהופיעו קודם לכן. האם יש צורך להציג אותם לפני מדגם של מאה דוברים, בכל מיני וריאציות לקסיקליות, תוך ערבובם האקראי עם משפטי בקרה, ואז לבצע ניתוח סטטיסטי של התוצאות? מובן שאפשר לעשות את כל זה, אבל זאת תהיה השחתת זמן ומשאבים לריק. התוצאות יראו בבירור שדוברים אינם מקבלים משפטים כאלה. זו פשוט עובדה קוגניטיבית בסיסית: ביחס למספר עצום של מבעים לשוניים, יש קונצנזוס קרוב למוחלט בין כל הדוברים.

מובן שיש תמיד מקרים גבוליים, שבהם השיפוט אינו חד. בלשנים גנרטיביים ערים למקרים האלה, ואכן בהם, ובהם בלבד, מפעילים את שיטות המחקר הסטטיסטיות המקובלות. בנקודה זו ראוי להפריך עוד מיתוס – שארנון ווינטנר חוזרים עליו – כאילו האבחנה בין "דקדוקי" ל"לא דקדוקי" היא אבחנה בינארית חותכת. למיטב הכרתי, אף בלשן גנרטיבי לא מאמין בכך, וצריך רק לחזור לספרו המכונן של חומסקי מ־1965, Aspects of the Theory of Syntax, כדי למצוא שם פרק שכותרתו "דרגות של דקדוקיות". הכלי המתודולוגי הבסיסי של הבלשן הגנרטיבי הוא השיפוט הקונטרסטיבי (המנגיד), כלומר הניגוד בין שני מבעים ששונים בפרמטר בודד. במידה שאחד גרוע משמעותית מן השני, נהוג לציינם כ"לא דקדוקי" ו"דקדוקי", בהתאמה, אבל אף אחד אינו מייחס לתגיות האלה מעמד אבסולוטי בתיאוריה.

ובכל זאת, נשאלת השאלה האם בדיקה סטטיסטית רחבה של נתוני הבלשנות הגנרטיבית תניב תוצאות אמפיריות שונות במובהק מן התוצאות שמתקבלות משיפוטי דקדוקיות של דוברים ספורים בלבד. ארנון ווינטנר, כאמור, רומזים שהתשובה על כך חיובית, אבל מחקר שנעשה ממש לאחרונה סותר את טענתם[4]. במחקר נדגמו באקראי 300 מבעים לשוניים מתוך כ־1,800 שפורסמו בכתב עת גנרטיבי מוביל במהלך עשור שלם. הם הוצגו ל־936 דוברים, שתגובותיהם קודדו בשלושה אופנים שונים (כולל דרגות דקדוקיות). לבסוף הושוו תוצאות הבדיקה הזאת עם שיפוטי הדקדוקיות המקוריים שהוצגו במאמרים. והנה, התגלה מתאם של 95% בין שתי השיטות. מסתבר שהמתודולוגיה המקובלת עובדת די טוב בסך הכול.

ללא רדוקציה, ללא דוגמטיות

אין חולק שהיבטים מסוימים ברכישת שפה מושתתים על למידה סטטיסטית ועל הפעלת אנלוגיות. בלשנים גנרטיביים לא יכחישו זאת, אבל באותה נשימה ידגישו שאין די בכלים הללו כדי להסביר את כל היכולות הלשוניות שמפגינים דוברים ילידיים, כמו גם דפוסים אוניברסליים בשפה. באופן אירוני, על אף שהמחנה הגנרטיבי מואשם לא אחת בדוגמטיות, המצב הפוך: דווקא הבלשנים שדוגלים במנגנוני למידה כלליים אינם מוכנים להכיר בקיומו של רכיב דקדוקי מולד בקוגניציה האנושית ומתעקשים לעשות רדוקציה של כל התופעות הלשוניות לאותו מנגנון למידה. כפי שראינו, הגישה הזו מותירה ללא הסבר בדיוק את אותן תופעות שמרתקות כל כך את דמיונו של הבלשן הגנרטיבי. ✕

1. Lasnik, Howard and Juan Uriagereka. 2002. On the Poverty of the Challenge. The Linguistic Review 19, 147-150.

2. Berwick, Robert C., Paul Pietroski, Beracah Yankama and Noam Chomsky. 2011. Poverty of the Stimulus Revisited. Cognitive Science 35, 1207-1242.

3. Cinque, Guglielmo. 2013. Cognition, Universal Grammar and Typological Generalizations. Lingua, in press.

4. Sprouse, Jon, Carson T. Schütze, & Diogo Almeida. 2012. A Comparison of Informal and Formal Acceptability Judgments Using a Random Sample from Linguistic Inquiry 2001-2010. University of California, Irvine.

בלשנות 3

צד א': תגובה לתגובה

ד"ר ענבל ארנון ופרופ' שולי וינטנר

הטענה המרכזית בתגובתו הרהוטה של עידן לנדו היא שקיים "רכיב דקדוקי מולד בקוגניציה האנושית", "רכיב שמוטמע ביולוגית בבני אדם". זו טענה חזקה – חזקה יותר מאשר ההנחה שהיכולת הלשונית האנושית היא פועל יוצא של כישורים קוגניטיביים כלליים. על פי עקרון "התער של אוקהם", העומד ביסוד השיטה המדעית, נעדיף לקבל את הטענה החלשה יותר, זו המניחה פחות, אלא אם כן יש עדויות ברורות לכך שהטענה החזקה יותר מנבאת את המציאות טוב יותר. למרבה הצער, לנדו אינו מספק עדויות כאלה. במקומן הוא משתמש בשורה של אסטרטגיות רטוריות שנועדו להמעיט מערך הטיעונים והממצאים שהצגנו. נצביע כאן בקצרה על כמה מהן.

הצגה של השערות כעובדות. בסעיף 1, לדוגמה, לנדו מדבר על "השאלה שנגזרת ממשפט החיווי" ועל "מקומו המקורי של פועל העזר, לפני שהוזז לתחילת המשפט" כאילו היו עובדות. הטרמינולוגיה הזאת היא ספציפית לתיאוריה החומסקיאנית. בתיאוריות תחביריות אחרות שאלות אינן מיוצרות על ידי תנועה, והאופרציה של תנועה כלל אינה חלק מכללי הדקדוק. אותה הרטוריקה חוזרת בהמשך הסעיף, כשההנחה תלוית התיאוריה "כלל יצירת השאלה מזיז את פועל העזר/המודאל שבמשפט העיקרי" מוצגת כעובדה, ולא סתם עובדה, אלא כזו ש"כל בר־דעת יבחין בה", כלומר, לא כזו שצריך להוכיח באופן עצמאי. בסעיף 4 לנדו מניח את קיומו של "רכיב שמוטמע ביולוגית בבני אדם ומאפשר להם לפתח שפה", מבלי לציין שעצם קיומו של אותו רכיב שנוי במחלוקת. הצגת הנחות כעובדות אינה מעודדת מחקר אמפירי של ההנחות עצמן, ולכן בעייתית בהקשר של שיח מדעי. ›

נעדיף לקבל את הטענה החלשה יותר, זו המניחה פחות – במקרה זה, הטענה של רכישת שפה תלוית־שימוש – אלא אם כן יש עדויות ברורות לכך שהטענה החזקה יותר מנבאת את המציאות טוב יותר. למרבה הצער, לנדו אינו מספק עדויות כאלה

הצגת טענות מרחיקות לכת ללא בסיס אמפירי וביטול נתונים אמפיריים קיימים. לנדו, בלי להסתכל בנתונים, טוען בסעיף 2 כי "ילדים שרוכשים עברית לא יפיקו צירופים שמניים כמו 'גבוהות חלונות' או 'גבוהים חלונות'". באופן כללי, הוא טוען שמנעד הטעויות של ילדים מוגבל, וש"עובדה" זו היא הוכחה לקיומו של דקדוק אוניברסלי מולד. בחינה של קורפוס ברמן, המתעד ילדים דוברי עברית, מראה שהטענה הזו רחוקה מלהיות נכונה. חיפוש מהיר – בכלים שזמינים לכול – של צירופים שבהם ילדים מפיקים את שם התואר לפני שם העצם, בשונה מהסדר התקין בעברית, בדיבור של ילדים צעירים, מראה שילדים בהחלט מפיקים מבעים כאלה. למשל, הגר בת השנתיים אומרת "זה צהוב סרטן", ובגיל שנתיים ושמונה חודשים היא מדברת על "ירוק עלה". באותו אופן, ליאור בן השנתיים אומר "מקולקל אוטו", וגם "רטובים סנדלים".

כמובן, בשביל לחקור את מנעד הטעויות של ילדים בצורה רצינית יש להסתכל על קורפוס של הרבה ילדים, למצוא את כל הצירופים השמניים, לספור כמה מהם אינם בסדר התקין ובאילו הקשרים הילד טועה. אך לא ניתן לטעון שסוג טעויות זה פשוט לא מופיע, ובהחלט לא ניתן לטעון זאת ללא בדיקה אמפירית. בעבר היה קשה עד בלתי אפשרי לבחון טענות כאלה בצורה כמותית. אך כיום הזמינות של מאגרי מידע מאפשרת בדיקה של טענות כאלה בקלות, ולכן אין הצדקה – מדעית או פרקטית – לא לעשות זאת.

הצגה לא מדויקת של מונחים ותיאוריות קיימות. בסעיף 2 מבטל לנדו את החשיבות של הממצאים שהצגנו לגבי קיומו של משוב שלילי עקיף. הוא טוען כי זה אינו "משוב שלילי במשמעות המוכרת מתורת הלמידה" ומציע שהעובדה שילדים מתאוששים מטעויות בצורה הדרגתית, ולא די להם בתיקון אחד, מראה שהתיקון אינו אפקטיבי. טיעון זה עושה שימוש בתורת הלמידה בצורה לא מדויקת: איננו מכירים מודל שבו די בדוגמה נגדית אחת כדי לשנות התנהגות. אמנם לדוגמאות מוקדמות יש יותר משקל, אך יש צורך ביותר מדוגמה אחת, ועקומת הלמידה היא הדרגתית.

דוגמה נוספת לשימוש לא מדויק נמצאת בהצגה של מודלים סטטיסטיים. הסברה הרווחת בספרות הבלשנית החומסקיאנית מניחה מודל הסתברותי נאיבי בצורה קיצונית, שבו ההתפלגות אחידה ואומדן הפרמטרים טריוויאלי. ואכן, לנדו מתייחס בסעיף 2 לגישה ההסתברותית כאל "מנגנון פשוט כל כך", וטוען כי "הישגים משמעותיים בתחום הזה עדיין אין", ומסכם כי "שום ניתוח סטטיסטי" לא יוכל להסביר את הבדלי השיפוט על שני מבעים. האמת שונה. מודלים הסתברותיים יכולים להיות עשירים ומורכבים. הם יכולים לעשות שימוש בתכונות רבות של מבעים בשפה טבעית: לא רק במילים עצמן, אלא גם בחלקי הדיבר שלהן, במאפיינים המורפולוגיים והתחביריים שלהן, במשמעויותיהן. מודלים הסתברותיים עשירים מצליחים לנבא בהצלחה תופעות רבות ומגוונות הקשורות לרכישת שפה, והספרות העצומה בתחום הזה מתפתחת כל הזמן.

ישנן נקודות מחלוקת רבות בין הפרדיגמה החומסקיאנית לבלשנות תלוית־השימוש. מודל מוצלח של רכישת שפה יכלול, ככל הנראה, תובנות משתי הפרדיגמות. נקודת התורפה העיקרית של הפרדיגמה החומסקיאנית, לדעתנו, נעוצה במחסור בניבויים אמפיריים ברורים ובעמימות לגבי מה יוכל להפריך את התיאוריה. אילו נתונים ישכנעו את לנדו שאין דקדוק אוניברסלי מולד? באילו תנאים ישתכנע שיש לתיקון תפקיד בלמידה? מבלי להבדיל בין הנחות לבין עובדות ומבלי לנסח בצורה ברורה את גבולות התיאוריה – הנתונים שקיומם יחייב שינוי הנחות תיאורטית – קשה לקדם שיח מדעי. ✕

הברווז

כישראלית, איבדתי את הזכות הבסיסית לגדול על קומיקס. מי ראה קומיקס בילדותו? מה שמובן מאליו עבור ילדה בלגית, אמריקאית, יפנית – הוא שפה זרה עבור ילדה ישראלית שגדלה בשנות השבעים. אנחנו, הישראלים, נחשפנו לקומיקס החתרני בלי לעבור דרך המיינסטרים. אנחנו נפלנו ישר על דודו גבע. "שירת הברווז", ריבוע קטן בשחור־לבן שהופיע מתחת למאמר המערכת של עיתון חדשות, סימן את תחילת עידן הברווז בעבודתו. עם השנים הלכה דמות הברווז וקיבלה אישיות יותר ויותר מורכבת. מרירה. נפלאה בדרכה. אבל אני עדיין הכי אוהבת את הברווז בשנותיו הראשונות. התום של שירת הברווזים על משאית "הוד העמק" בדרך למשחטה היא משיאי ההומור הישראלי עד היום.

◄ המשך בעמ' 47

רשות הנמלים

במאה מיליון השנים האחרונות למדו הנמלים משהו על ארגון חברתי. מעקב אחר הנמלה הבודדת ואחר הקן כולו כסופר־אורגניזם יכול להביא לכמה מסקנות על שפה, תקשורת והחיים בעידן הרשתות החברתיות

ד"ר עופר פיינרמן

כולנו מכירים נמלים. הן נמצאות בכל מקום, והן אף פעם לא מגיעות לבד. שתי עובדות אלה קשורות זו לזו. הנמלים נפוצות במידה רבה עקב היותן חיות חברתיות שמשתמשות במספרן בצורה חכמה ומועי־לה. ישנם יתרונות רבים לחיים בקבוצה: שכבת הגנה מול שינויים סביבתיים, כמו למשל היכולת לווסת את הטמפ־רטורה בקן או היכולת לסמוך על הקבוצה גם ביום שנמלה ספציפית לא מצאה אוכל. חרק החי בקבוצה לא חייב לע־סוק בכל הפעולות הקשורות בהישרדות. החיים בקבוצה מאפשרים חלוקת עבודה והתמחות, ומספר רב של נמלים עוקצניות מועיל גם בהגנה מול אויב. את השאלה שהיא אולי המסקרנת ביותר לגבי קבוצות נמלים קל לשאול, אך קשה להגדיר באופן מדויק: האם קן נמלים חכם יותר מה־נמלה הבודדת?

כדי לנסות ולענות על השאלה הזאת, טוב להתחיל מצ־פייה בנמלים עצמן. למרבה הצער (או אולי להפך), זוהי אינה משימה פשוטה. הנמלים דומות מאוד זו לזו. הן עו־סקות בפעולות רבות בו־זמנית, כשרוב פעילותן מתרחשת מתחת לאדמה. בקיצור, לא ברור כלל במה כדאי להתמקד, וכשכבר מחליטים, עדיין קל מאוד להתבלבל.

כדי לנסות ולעשות קצת סדר, נתאר שתי נקודות מבט שאותן ניתן לאמץ כשמסתכלים על נמלים, וניתן כינויים לנקודות המבט האלה כדי שנוכל לחזור ולהתייחס אליהן בהמשך בנוחות: "מבט דוב" ו"מבט ציפור".

מבט הדוב שם את היצור הבודד במרכז. כדי להמחיש ניתן לתאר דוב קוטב שמשוטט לבד בשלג, תר אחר מזון, אולי גם אחר מקום טוב לישון, ולשם כך הוא מסתמך על חושיו, על זיכרונו ואף על יכולת קבלת ההחלטות והיצי־רתיות שלו. המצב נהיה מורכב קצת יותר אם לדוב יצטרף חבר. אל "הקלט הסביבתי" של כל דוב יתווספו עכשיו גם פעולותיו של החבר. יחד עם זאת, הדובים יוכלו לשתף פעולה, כך שכל אחד יתרום את כישוריו הייחודיים – לציד למשל. כמו כן ניתן לתאר שעקב ההבדלים ההכרחיים בין דוב לדוב, זוג דובים יהיה מסוגל למצוא פתרונות למגוון רחב יותר של בעיות שהטבע יעמיד בפניהם: פעם לזה יהיה רעיון ופעם לזה.

זאבים או קופים חיים בקבוצות גדולות יותר שמונות עשרות פרטים. בקבוצות כאלה המצב נהיה מסובך יותר, שכן עתה מצטרפים למשוואה מבנים חברתיים ואותות חב־רתיים ייחודיים המאפשרים, או מחייבים, את הפרט הבודד למקם עצמו בקבוצה, להתחשב בה וגם ללמוד ממנה.

מקרה החרקים החברתיים, הכוללים דבורים, צרעות, טרמיטים ונמלים, קיצוני אף יותר: נמלים ממינים שונים חיות בקנים של מאות, אלפים ואף מיליוני פרטים. בקן שכזה הפגישות בין הדיירות כה מרובות, עד שכמות המידע שנמלה מקבלת מיד שנייה תהיה גדולה בהרבה מזו שהיא

11 "אצניות ארוכות מחוש" (P. longicornis) נושאות פתית דגן־בוקר הביתה. הנמלים מסוגלות לאסוף פריטי אוכל שמשקלם עד פי עשרת אלפים ממשקל גופן וביניהן מתקיימות אינטראקציות רבות בצורת מגע ישיר (דרך "תחושת המשיכה") או בדרך של סימון כימי

אוספת בעצמה במגע ישיר עם הסביבה.

על כל נמלה להחליט מה לעשות ברגע הבא בהתאם לחוויותיה בעולם העשיר הזה. אם תצליח להביא את היצירתיות שלה ואת החדשנות שלה לידי ביטוי, הרי שעל פי מבט הדוב, הפוטנציאל של הקן כולו להיות יצירתי ומפתיע יילך ויגדל ככל שיהיו בו יותר נמלים.

אורגניזם וסופר־אורגניזם

"מבט הציפור" מקבל את שמו מהתנהגות ציפורים בלהקה. הציפורים עפות בלהקה שמקלה על חברותיה לעוף מרחקים ארוכים ואף תורמת להן בהתחמקות מעופות דורסים. מצד שני, הציפור הבודדת אינה מודעת כלל למבנה המרחבי וליתרונות הלהקה. היא פשוט עפה על פי כללים פשוטים שמכתיבים את כיוון התקדמותה ועל פי מיקומן היחסי של שכנותיה. ממבט הציפור נראה קן הנמלים כישות אחת. בהתאם לראייה זו מכנים את הקן בשם "סופר־אורגניזם", כלומר אורגניזם שאינו מורכב כמקובל מאוסף של תאים, אלא מאוסף של אורגניזמים – הנמלים עצמן. לנקודת מבט זו הצדקה

בלי מצפן או GPS

אפשר היה לצפות לחיזוק מבט הציפור, הרואה בקבוצה את מקור עוצמתו הבלעדי של הקן, אם נמלים, על כמאה אלף תאי המוח שלהן, היו יצורים פשוטים מכדי לבצע פעולות מורכבות בעצמן. אך כמו כל חרק אחר, הנמלים דווקא מרשימות ביכולותיהן השכליות. מדען שווייצרי בשם רודיגר ווהנר הדגים בכישרון רב את יכולות הניווט של נמלים ממשפחת "קטגליפיס" ("נווטות").

כשבני אדם מנווטים באזור חסר עצמים בולטים הם מסוגלים להשתמש בספירת צעדים על מנת להגיע ליעד. יכולת זו מוגבלת, שכן אחרי כמה קטעים בוודאי יצברו די טעויות כדי להתברבר. הנווטת מסוגלת לספור צעדים על פני מסלול של מאות מטרים. יתרה מכך, כל צעד יכול להיות בכיוון שונה. הנמלה, כך מתברר, משקללת את הצעדים עם הזוויות שלהם. וזה עוד לא הכול – על ידי שימוש בשיטה זו הנמלה יכולה למקם את עצמה באופן אבסולוטי במרחב ולחזור הביתה במסלול ישר בעת הצורך. כל אלה יכולות שלנו, בני האדם, קשה אפילו לדמיין. קל להתרשם מיכולות ההתמצאות של הנמלה הנווטת: כל שיש לעשות הוא לצאת בצהרי היום החוצה, לזהות נווטת המשחרת למזון, לפורר פיסות ביסקוויט קטנות מעט לפניה ולצפות. מומלץ.

אבולוציונית, שכן מטרת כל הנמלים בקן היא אחת: לעזור למלכה להעמיד כמה שיותר צאצאים פוריים.

מבחינה התנהגותית, אם נבחר לערוך פיקניק ליד קן נמלים ונצמצם את עינינו כך שלא נוכל לראות נמלים בודדות, מה שנראה הוא את הקן מושיט יד ארוכה וטובל אותה בהנאה בתוך המטעמים שעל המפה שפרשנו בטבע. כשיסיים הקן לאסוף את האוכל הוא ימשוך את ידו בחזרה והיא תעלם.

האנלוגיה בין קן נמלים ליצור רב־תאי רחבה ועמוקה, וקיימות אפילו הקבלות בין קן נמלים למוח בתור שתי ישויות קוגניטיביות שמנתחות מצבים ומקבלות החלטות בתהליכים דומים.

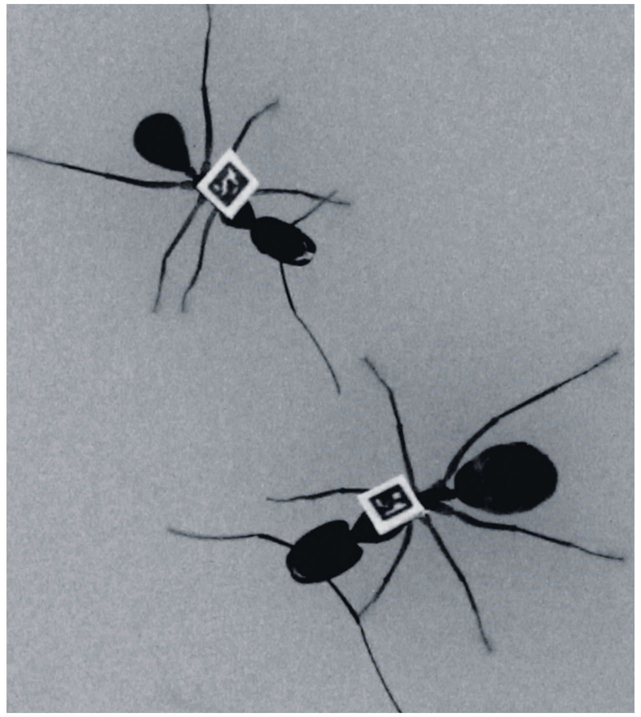
תחת תיאורים אלה הנמלה הבודדת משמשת כרכיב, או אבן בניין, בתוך מעגלי משוב. הדגש פה הוא לא על הנמלים, אלא על הקישוריות שביניהן, שאחריה עלינו לעקוב אם ברצוננו להבין את דרכי הפעולה של הקן כולו.

ניתן שוב לשאול האם, על פי מבט הציפור, קן גדול יהיה עדיף מבחינה 'קוגניטיבית' על קן קטן. ידוע שקן גדול יכול לבדוק יותר אפשרויות במקביל (למשל, למצוא בקלות רבה יותר את אתר הפיקניק הבא). כמו כן ידוע שמספר רב יותר של נמלים מאפשר, על ידי שיטות הדומות לבחירות דמוקרטיות, להגיע לדרכי פעולה אמינות יותר שלא מושפעות מטעויות של בודדים. אך כאן, ובניגוד למבט הדוב, לא נצפה שקן גדול יהיה למשל יצירתי יותר מקן קטן.

ניתן לחשוב על ההבדל בין גישות אלה גם במונחים חברתיים. על פי מבט הדוב נמלה אינדיבידואליסטית שמצאה פתרון חדש לבעיה כלשהי יכולה לנסות לשכנע את חברותיה בדעתה ולסחוף מספיק מהן לנסות אותו. לעומת זאת, במבט הציפור דווקא הקונפורמיזם חשוב יותר: לכל נמלה תפיסה מוגבלת של העולם ופעולותיה בעצם נקבעות לפי פעולות הנמלים שסביבה. יתרונותיו של הקונפורמיזם בחברה גדולה הדורשת תיאום רב אינם שנויים במחלוקת. מצד שני, שמרנות יתר יכולה להיות בעייתית: דוגמה ברורה לכך ראינו כששמנו גליל מעל פתח קן "אצניות ארוכות מחוש" (Paratrechina longicornis). הנמלים יצרו שביל פרומונים (כימיקלים המשמשים לתקשורת) טבעתי שגרם לטור להתמיד ללכת ללא תכלית במשך שמונה ימים תמימים (הניסוי נערך בחנוכה).

למה נמלים

אז מהי נקודת המבט המתאימה? שאלה זו מעניינת בהקשר של נמלים, אך גם בהקשר כללי יותר של קבוצות ביולוגיות. ישנן אינספור דוגמאות של קבוצות ביולוגיות שיתופיות, מתאי דם לבנים במערכת החיסון דרך קבוצות של חיידקים המתקשרים ביניהם ועד להקות של דגים שמבצעות תמרונים מרהיבים במים. בעוד מדע הביולוגיה



"קמפוניות פולחות" נושאות תגיות המאפשרות זיהוי ייחוד

התקדם מאוד בהבנת הפרט, הכלים שבהם כדאי להשתמש כדי לתאר קבוצות לחלוטין אינם ברורים.

ישנם מספר יתרונות בהתייחסות לשאלות כלליות אלה דרך תצפית על נמלים:

- הנמלים חיות בקבוצות זה 100 מיליון שנה. לשם השוואה, אנו בתור בני אדם הגענו ליכולות החברתיות הנוכחיות שלנו רק לפני כ־50 אלף שנה. כבוד.
- בקן הנמלים אפשר לראות את המבנה כולו ובו זמנית להתבונן פרטנית בנמלה הבודדת. זאת בניגוד למערכות מורכבות רבות שהפרטים הנחקרים בהן פרושים על פני מרחבים שקשה להכילם במבט אחד.
- נמלים מציגות בסביבת מעבדה חלק נרחב ממגוון ההתנהגויות שלהן בטבע. קל להשתכנע שזה המצב אם רק נשים לב לדמיון הרב בין המעבדה למטבח שלנו, שבו הנמלים מרגישות לגמרי בבית. עובדה זו חשובה ביותר שכן היא מקלה עלינו, כצופים, לנחש בכל רגע ורגע למה הנמלים שואפות (לדוגמה, להגן על הקן מפני פולשים). ברגע שמעבירים את התנהגות הנמלים לסביבה מבוקרת מתגלה גם היתרון הבא:
- היום, באמצעות שיפור אדיר בכוח המחשוב ובאיכות המצלמות, ניתן לצפות ברזולוציות גדולות ולטווחי זמן גדולים בכל נמלה בודדת ובמקביל באוכלוסייה גדולה שסובבת אותה. היום אנו יכולים להביט בקן שמכיל מאות פרטים, להתמקד בנמלה מספר 36 ולראות מה היא עושה לאורך יממות, עם מי היא נפגשת, מתי היא בפנים, מתי היא בחוץ, במה היא עוסקת. ריאליטי. יכולות אלה מהוות מהפכה ביכולתנו לצפות בקן נמלים דרך "משקפי הדוב" הפרטניים.
- יתרון נוסף, שעל פניו נראה אולי משני, קשור להכרות הקרובה שיש לכל אחד ואחד מאיתנו עם נמלים. כדי להבין את קן הנמלים יש צורך ליצור שיתופי פעולה עם מדענים מדיסציפלינות מדעיות שונות (לדוגמה: "חישוב מבוזר" – תת-תחום במדעי המחשב, או "תורת האינפורמציה") לצורך פיתוח כלים תיאורטיים חדשים לחקר קבוצות ביולוגיות. קל בהרבה ליצור קשרים כאלה כשמושא המחקר מוכר לכול. לאיש מדעי המחשב, שתחום מחקרו מרוחק מאוד מהתנהגות בעלי חיים, עדיין יהיה טבעי וקל לדמיין את הבעיות שמציגות בפניו הנמלים.

בקן נמלים הפגישות בין הדיירות כה מרובות, עד שכמות המידע שנמלה מקבלת מיד שנייה תהיה גדולה בהרבה מזו שהיא אוספת בעצמה. על כל נמלה להחליט מה לעשות בהתאם לחוויותיה בעולם העשיר הזה

האנלוגיה בין קן נמלים ליצור רב־תאי רחבה ועמוקה, וקיימות אפילו הקבלות בין קן נמלים למוח בתור שתי ישויות קוגניטיביות שמנתחות מצבים ומקבלות החלטות בתהליכים דומים

כעת ניתן להגדיר מה נחפש בניסוי טוב עם נמלים: התנהגות חברתית טבעית ומעניינת שניתן לשחזר באופן הטבעי בתנאים המאפשרים עיקוב מפורט אחר תהליכים מרמת הנמלה הבודדת ועד רמת הקן כולו.

תקשורת בין־נמלית

לפני שניגש לתיאור כמה מהניסויים שאנו עורכים – עוד כמה מילים על התקשורת שבין הנמלים.

תקשורת מפותחת עוזרת, מן הסתם, למצות את המרב מהחיים בקבוצה. ניתן לסווג את התקשורת בין נמלים לשלוש קבוצות: ›

1. "מקומית בזמן ובמרחב": פגישה אישית אחת על אחת שבה מועברים הן אותות כימיים והן תקשורת במגע ובמחוות גופניות.
2. "מקומית רק במרחב": למשל השארת חותם – ריח בצורת שביל שמנחה אחרות למטרה (השם המדעי לתקשורת בלתי ישירה זו הוא "סטיגמרגיה").
3. "מקומית בזמן, אך לא במרחב": התזה של חומרים כימיים לאוויר – מעשה המשמש לרוב כאזעקת חירום, מעין מערכת כריזה "צבע אדום". במיני נמלים מסוימות (לדוגמה ה"טפינומה הישראלית") גם אפנו יבחין באזעקה זו.

לכל סוג תקשורת יש יתרונות וחסרונות, והשימוש בכל בסוג מותאם למצב. יותר על כן, במקרים רבים הנמלים משתמשות ביותר מסוג תקשורת יחיד.

אם נסתכל על נמלים שהולכות על שביל, סביר שהן עוסקות בתקשורת מספר 2 (חותם ריח). במבט מקרוב ניתן להבחין שהן גם נפגשות באינטימיות זוגית – תקשורת מספר 1. כל ילד מכיר את התופעה שבה נראות שתי נמלים נפגשות על אם הדרך, אך אין חוקר בעולם שיודע למה, ומה הן אומרות זו לזו.

המתח בין שתי נקודות המבט, "הדוב" ו"הציפור", ניכר גם כשמתרכזים בתקשורת בין הנמלים. מצד אחד הנמלה היא בית חרושת לכימיקלים המסוגל לייצר עשרות רבות של פרומונים ולהציגם כהודעה הניתנת להרחה על גופה. כדי לקבל הערכה גסה מאוד על כמות המידע שניתן להעביר בשפה זו נדמיין שהנמלה יכולה להחליט לגבי כל אחד מבין 50 כימיקלים שונים אם הוא נמצא או לא (שני מצבים). לרשות נמלה שכזו יהיה אוצר מילים אדיר של 2 בחזקת 50, או 1 שאחריו 15 אפסים. אין ספק שאוצר מילים שכזה יכול לספק אפילו את הנמלים המתוחכמות והאינדיבידואליסטיות ביותר.

מצד שני, תיאורים מדעיים רבים מדגימים כיצד ניתן להסתפק באוצר מילים מצומצם ביותר כדי לתאר התנהגויות רבות של נמלים. תחת השקפה זו נשאלת השאלה – לשם מה נזקקות הנמלים לייצר מגוון פרומונים גדול בהרבה ממה שעושה הרוב המוחלט של מיני החרקים השונים? האם אין זה בעצם תוצר לוואי של תהליך אחר?

ניתן להשתמש בשתי גישות כדי לנסות "להקשיב" לשיחות המתנהלות בין הנמלים. בשיטה הישירה ננסה למדוד את הנאמר על ידי האזנה, צילום או ניטור כימי. דוגמה ידועה לשיטה זו מגיעה מבת דודתה הקרובה של הנמלה, הדבורה. דבורים מעבירות ביניהן מידע על המרחק והכיוון של המזון ועל איכותו על פי ריקוד מיוחד שפוענח על ידי החוקר האוסטרי קרל פון פריש לפני יותר מארבעים שנה. השיטה השנייה, העקיפה, היא על ידי התבוננות בשינוי ההתנהגותי שנגרם בעקבות פגישה כלשהי. אז ניתן להעריך מהו המידע שהועבר בשל תוצאותיה של אותה פגישה.

ונעבור לניסויים

ניסוי בגיוס: מטרתו להבין את תהליך הגיוס לעבודה בנמלה ששמה "נוותת שחורה" (Cataglyphis niger), נמלה שלרוב דווקא אינה עוסקת בגיוס חברות למשימה משותפת, ושיטת איסוף המזון שלה היא חיפוש סולו אחרי חרקים מתים. בניסוי זה הנחנו צרצר מחוץ לקן מלאכותי של נוותות. את הצרצר קבענו כך שנמלה לא תוכל להזיזו ממקומו, דבר שגרם לה לחזור לקן כדי לנסות לגייס את עזרת חברותיה. השתמשנו בשיטה העקיפה (הסקת המסקנות מטיב ההתנהגות שאחרי המפגש) כדי להעריך את אוצר המילים שבו הן משתמשות כדי ליידע נמלים אחרות בדבר הימצאות המזון.

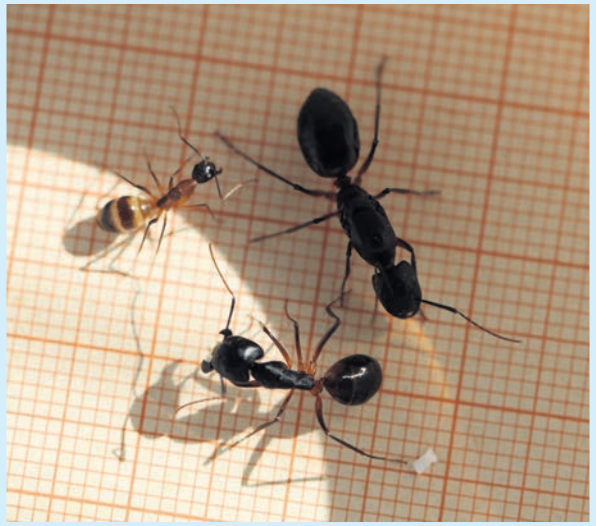
מצאנו שיש להן באוצר המילים, שכנראה נוצר ממגע בלבד, מילה אחת בלבד שמשמעותה בגדול – "יאללה". כדי להעביר את המסר סוטרות הנוותות השחורות זו לזו על הפנים באמצעות המחושים, או פשוט מתנגשות זו בזו, והתוצאה – הנמלה הנסטרת קמה מרבצה ויוצאת לדרך. היא, כך נראה, אינה יודעת בהתחלה למה ולאן, אך אם הטרף קרוב דיו לקן היא תגיע אליו בסופו של דבר.

נראה שאוצר מילים כה דל יכול להספיק למשימה פשוטה זו, אך אין זה מדויק. נמלים שזזות בתוך הקן החשוך והצפוף עלולות להתנגש במקרה בחברותיהן. במקרה זה ישמעו נמלים נוספות גם הן את ההודעה "יאללה", כך שהקן ייכנס לתהליך גיוס בלתי רצוי. הנוותות פותרות בעיה זו בצורה פשוטה להפליא: הן מפצות עצמן על חוסר באוצר מילים על ידי "שימוש נבון" במילה הבודדת שלרשותן. הן יכולות להחליט מתי לדבר ומתי לשתוק, מתי להקשיב ומתי להתעלם. המעניין בתקשורת שלהן הוא שנמלים שברשותן מידע מהימן (ממקור ראשון) ידברו חזק ויתעלמו מדעות סותרות. נמלים שפחות בטוחות בעצמן ידברו מעט ויהיו קשובות לדעות של אחרות.

הנמלה הבודדת משמשת כרכיב, או אבן בניין, בתוך מעגלי משוב. הדגש פה הוא לא על הנמלים, אלא על הקישוריות שביניהן, שאחריה עלינו לעקוב אם ברצוננו להבין את דרכי הפעולה של הקן כולו

מלכה בת 30

את הנמלים למחקר (בארץ בורכנו בכ־150 מינים) לוכדים על ידי מארב למעוף הכלולות של "הנסיכה" – אותה מלכה שטרם העמידה דור צאצאים חדש. לאחר שהיא מתעברת מכניסים אותה לקן מלאכותי במעבדה, שם תוכל להמשיך לחיות עד שתהיה בת 30 – תוחלת חיי מלכת נמלים. בקן תעמיד המלכה דורות של נמלים, שכולם פרי אותה הפריה יחידה מאותו מסע כלולות ראשון ואחרון. כשהמלכה מתה אין יותר ילודה של פועלות, ובתוך כשנה, זמן חייה של פועלת מן המניין, ימות הקן כולו. כדי להשלים את התמונה נאמר רק שזכרי הנמלים חיים בדרך כלל שבועות ספורים בלבד, המסתיימים מיד לאחר שביצעו את תפקידם הזכרי תוך כדי מעוף הכלולות. לרשותנו, החוקרים, עומדת כשעה בשנה כדי לתפוס מלכות במסע הכלולות. פספוס השעה מאלץ להשתמש באתי חפירה כדי למצוא את אותה מלכה, לעתים שני מטרים ויותר מתחת לפני הקרקע.



"קמפונויות פולחות". מלכה עם פועלת (בחלק התחתון) וחיילת

במילים אחרות, הנמלים במקרה זה חפות מאגו. הנמלה המשפיעה ביותר היא הנמלה המעודכנת ביותר בלי קשר לגיל, למעמד או לניסיון חיים.

ניסוי בסחיבה: ה"אצנית ארוכת המחוש" (P. longicornis) היא נמלה קטנה בעלת תפוצה עולמית שמצטיינת בנשיאת כבודה בחברותא. באופן זה הנמלים מסוגלות לאסוף פריטי אוכל שמשקלם עולה בהרבה על משקל גופן – עד פי עשרת אלפים. במהלך שינוע הציד לקן משתתפות נמלים רבות פעולה בתפקידים שונים. חלק סוחבות בפועל, חלק ממוקמות סנטימטרים ספורים לפני המחנה ומסמנות נתיב כימי, וחלק אף מסקלות אבנים ומכשירות את הציר. בין כל הקבוצות מתקיימות אינטראקציות רבות בצורה של מגע ישיר דרך "תחושת המשיכה" של המשא או בדרך של סימון כימי.

פרט מעניין הוא שעל פניו לא כל הנושאות בנטל מכירות את הדרך הביתה, ולראיה – לא אחת ההתקדמות אינה בדרך הקצרה ביותר. ולא רק זאת, לעתים הן הולכות הפוך מהכיוון המבוקש. טעויות שכאלה אינן נדירות, ולא בכדי. דמיינו שאתם משתתפים בנשיאת גוף שגודל מכם פי עשרת אלפים, שלפעמים אפילו מגלה סימני חיים. לא פשוט. קל להבין מדוע יש תקלות ואיבוד כיוון.

איך אם כן, מתאפשרת ההגעה לקן? בדומה לניסוי הקודם, נמלים שחושבות שהן מכירות את הכיוון הנכון ימשכו חזק יותר. לעומתן, נמלים שכבר סוחבות במשך זמן מה, ולרוב גם השלימו תוך כדי כך כמה סיבובים סביב עצמן, מאבדות את ביטחונן העצמי. נמלים אלה ימשיכו להשקיע מאמץ בהרמת העצם אך יחלישו את כוח משיכתן, ולכן גם את מידת השפעתן היחסית על כיוון התנועה. בצורה כזו מגיעה, בסופו של דבר, הארוחה הביתה אל השולחן.

האצניות, שאותן אנו חוקרים, לוקות ב"תסמונת העיניים הגדולות". פעמים רבות יאספו פריטי מזון הגדולים בהרבה מפתח הכניסה לקן. התחלנו לפיכך לחקור כיצד עוברות הנמלים דרך מכשולים שונים. ניסינו לשחזר את המצב הטבעי שבו קיים מעבר צר שמתאים לנמלים בודדות, אך אינו מאפשר מעבר טרף שמובל הביתה. והנה הפתעה: הטרף שהובל עד המכשול מאוזן לקרקע הועמד לפתע אנכית, כך שהחלק הצר שלו הצליח לעבור את המכשול הצר, מעשה סַבלות יצירתי. השאלה שעומדת בפנינו היא מה מקור היצירתיות הזאת. האם מדובר במנהיגה טבעית בודדת שהצליחה לשכנע קבוצה, או שמא בסוג של אינטליגנציה קבוצתית? תשובה לשאלה, לפי שעה, אין.

ניסוי בדרג קבלת ההחלטות: ניסוי זה, שנערך בשיתוף פעולה עם נייג'ל פרנקס האנגלי, נועד לבחון אם החלטות נעשות ברמת הנמלה או ברמת הקן. לצורך הניסוי עבדנו עם "נמלי סלעים" מסוג Temnothorax albipennis. נמלים אלה אינן חופרות קנים, אלא מתגוררות בסדקי סלע או מתחת לאבנים. בתים מסוג זה הם ארעיים ונוטים להיהרס. ואכן, לנמלי הסלע התנהגות מתוחכמת המאפשרת מעברי דירה. במעבדה, כאשר הורסים להן את הבית ובו זמנית מציגים בפניהן שני בתים חלופיים, כאשר אחד מהם טוב מהשני (למשל חשוך במעט), יעברו הנמלים לבית המשופר מבלי להתפלג. מדובר

בהחלטת קונצנזוס, שמוכרת גם כבעיה קלאסית מתחום מדעי המחשב.

בניסוי שנתאר כאן ביצענו מניפולציה שבה מנענו מנמלים שהגיעו ראשונות כ"סיירות" לבדוק יותר מבית אחד, ובעצם מנענו מהן את האפשרות לערוך השוואות.

כדי להשיג זאת הדבקנו על גבה של כל נמלה תג RFID (Radio Frequency Identification) ייחודי ובכניסה לכל בית התקנו גלאי תגים המחובר לדלת אוטומטית שנפתחת מאליה כמו בסופרמרקט.

כשנמלה סיירת הגיעה לבית בפעם הראשונה הדלת נפתחה, ומעתה נשמרה לה גישה חופשית רק לבית הזה. באותו רגע נכנסה אותה נמלה לרשימה השחורה של הבית השני וכניסתה אליו נמנעה מעתה ועד סוף הניסוי. לאחר הפעלת המניפולציה הגיעו סיירות לשני הקנים החלופיים, אך במשך הזמן נדדה הקבוצה כולה לבית המשופר. המניפולציה שלנו לא מנעה מן הנמלים לבחור את הבחירה הנכונה.

ההנחה שלנו הייתה שהנמלים שתפקדו כסיירות שבו עם ציון טיב הבית והשפיעו על אלה שלא היו בו. יש לציין שלא ייתכן שכל הנמלים יחזרו הביתה עם ציונים זהים לחלוטין לגבי בית מסוים. ולא רק זאת, לעתים הבית הנחות יקבל ציונים גבוהים מהבית המשופר. כאן נכנס כוחו של ההמון – הנמלים דואגות לכך שבסופו של דבר הממוצע הוא זה שיקבע. בממוצע, ההשפעה השלילית של חוסר הקונסיסטנטיות במתן הציונים פוחתת באופן ניכר והחלטת הנמלים אכן נשארת נכונה, ומשמעותה – הולכים לבית המשופר.

הנמלים ואנחנו

קשה להשוות בין חברת האדם לחברת הנמלים. הביולוגיה שלנו שונה: בחברה האנושית כל אחד מסוגל להעמיד צאצאים, אך בחברה הנמלית תפקיד זה מיועד למתי מעט בלבד. הסוציולוגיה גם היא שונה. ישנה סברה האומרת שכבני אדם עוצבנו לחיים בחברות קטנות – ממשפחות עד חמולות שבטיות. הנמלים, לעומת זאת, עוצבו לחיות בקבוצות של עד עשרה מיליון פרטים. תחת הנחה זו נראה שהתרבות האנושית, כתוצאה מעידן התקשורת הגלובלית והרשתות החברתיות נטולות ההיררכיה, צועדת למצב שמוכר במפתיע מחברת הנמלים. בעידן האנושי הרב־ערוצי, העידן שבו אנו חיים, חייבת תשומת הלב להתפצל, ואנו נדרשים להכריע למי ומתי מאזינים ואל מי ומתי מדברים. כל זאת כדי להצליח להתארגן ולבצע פעולות הגדולות על יכולותיו של האדם הבודד. לכן אין להוציא מכלל אפשרות שכדי לתפקד היטב בעולם מסוג זה כדאי לנו לעצור, להתבונן מטה אל האדמה ולנסות להבין דבר או שניים על עולמן של הנמלים. ✕

הדרך אל הנמלים

כשאני מנסה להיזכר מה הוביל אותי לחקור את התנהגותן של הנמלים עולים בי זיכרונות משני מקרים. המקרה הראשון אירע במעונות האוניברסיטה העברית כשהייתי סטודנט בשנה הראשונה. בעודי ישן, חלמתי שנרדמת לי היד – מה שנקרא "תחושת נימול". ההרגשה הלא נעימה התגברה עד שהתעוררתי כדי לגלות שכל הקירות סביבי שחורים מאלפי נמלים, כמו גם המיטה, וכפי שניתן לנחש – גם אני הייתי מכוסה בהן. בתום מאבק מבוהל, עזרה מהשכנים בניקוי השטח ומקלחת זריזה, חזרתי לישון רק כדי להתעורר כעבור כמה שעות באותו מצב בדיוק.

המקרה השני אירע כמה שנים לאחר מכן כשחיכיתי לטרמפ בעיירה הקטנה וכנינגן שבמרכז הולנד. בעודי עומד ליד גדר מתכת שתחמה בית הולנדי מטופח, שיחקתי בלי משים באחד הראשים העגולים המוברגים לעמודי הגדר ופתחתי אותו בהיסח הדעת. להפתעתי, מתוך קן חבוי בצינור פרץ לפתע נחיל נמלים קטנות שחורות. כשמיקדתי את מבטי הבחנתי שהנמלים ממלטות ביצים וולדות מהאזור שחשפתי לעומק הצינור, כך שבתוך זמן קצר לא נותר מהן זכר. כדי לא להפריע להן יותר מדי סגרתי את המכסה, אך מסקרנות פתחתי אותו שוב לאחר דקה או שתיים. האירוע חזר על עצמו באופן כמעט מדויק. מיד עלתה במוחי השאלה: האם אני רואה כאן את אותן הנמלים, או אולי זו קבוצה אחרת? ומכאן: מה מידת הזהות האישית שיש בכלל לנמלים בתוך קן? כשהמשכתי לסגור ולפתוח את המכסה התופעה שבה וחזרה על עצמה, מה שגרם לי להבין שנמלים הן יצורים נוחים למחקר. על השאלה הבאה – האם הקן "יבין" בסופו של דבר שאין טעם להחזיר שוב ושוב את הביצים לאזור המסוכן – כבר ויתרתי, שכן הטרמפ שלי הגיע. מאז אותו מפגש עברו כמעט עשר שנים עד שהתמזל מזלי והתחלתי לעבוד בעבודה שפעם לא האמנתי שהיא קיימת – חקר הנמלים.

David Hockney, "Portrait of an Artist (Pool with Two Figures)", 1972, acrylic on canvas, 84x120 © David Hockney, Photo: Steven Sloman

ציורי הבריכות של דיוויד הוקני

כי הוא לא מצייר בריכה. הוא מצייר תמצית של בריכה. הוא מנתח את הבריכה כמו שמדען מנתח צפרדע. אוקיי, מה יש לנו פה, בואו נראה: ממה מורכבים מים, מה זאת אדווה, מה זה כחול, מה זה שפריץ. הוא פשוט הזיז הצידה את כל מה שלא קריטי ונשאר בעיקר. זה לא מיליון הגוונים הרגישים של קלוד מונה – שגם צייר מים בצורה פנומנלית – אלא ההפך. אצלו זה נקי, כמעט גרפי.

David Hockney, "A bigger splash", 1967, acrylic on canvas, 96x96, © David Hockney, Collection Tate, London

המשך בעמ' 61 ◀

כתבנו חש תחושה מעקצצת בקרקפת
צילום: אודיסאה

אפגרייד למוח

עודד כרמלי

האם טכנולוגיות חדשות יאפשרו לבני אדם להעצים את יכולותיהם השכליות מעל ומעבר למה שהעניקו להם האבולוציה ובית הספר? שלחנו את כתב "אודיסאה" לשמש שפן ניסיונות: הוא קיבל כמה מכות חשמל לקרקפת, בלע כמה גלולות והצליח לשלוח את הכתבה לפני הדד־ליין אחרי ששדרג את יכולת הריכוז שלו. הצצה אל העולם המטריד והמופלא של ההעצמה הקוגניטיבית

בשנה שעברה קראתי את הביוגרפיה של מוסוליני מאת דניס מק־סמית. הוא נולד באיטליה. זה, פחות או יותר, מה שאני זוכר מהספר. כן, ניחנתי בזיכרון של דג זהב. לא שאני מבכה את מר גורלי. אני מכונת למידה מגורזת, אוטודידקט מלידה, סקרן כחייזר. אני אמנם לא זוכר דבר מהביוגרפיה של מוסוליני, אבל יש לי כושר הריכוז של סטלין. אני יכול לקרוא שיר של שמואל הנגיד לצלילי שיר של דאפט פאנק ביוטיוב והודעות נכנסות בפייסבוק. אבל הזיכרון, הזיכרון! אני מקנא בכל המשננים, המצטטים והמצלמים בעיני רוחם. אני רוצה לחזק את הצד החלש שלי, ואם אפשר – לחזק עוד יותר את הצדדים החזקים שלי.

בקיצור, אני מעוניין בהעצמה קוגניטיבית (Cognitive Enhancement). ולא רק של הזיכרון – של כל מה שרק אפשר. כפי שנאמר: איזהו עשיר? המעצים את חלקו!

תחנה ראשונה, גרייה חשמלית

התחנה הראשונה שלי בדרך לשדרוג יכולותי השכליות עוברת אצל פרופ' מיכל לבידור מהמרכז הרב תחומי לחקר המוח באוניברסיטת בר אילן. אצל פרופ' לבידור אני הולך לעבור tDCS – Transcranial Direct Current Stimulation. או בעברית: פרופ' לבידור הולכת לחשמל לי את המוח. "אין לזה תרגום טוב לעברית", היא מתנצלת, "אני בדרך כלל אומרת 'גרייה חשמלית חלשה', בדגש על 'חלשה', כי זה באמת נשמע קצת מפחיד".

על מנת להשתפר צריך קודם כול להבין עד כמה המצב גרוע. אז קודם כול עורכים לי ד"ר טל סלע והדוקטורנט רועי עמית שני מבחנים. במבחן הראשון אני רואה מסך שחור עם נקודה אפורה באמצע. בכל כמה שניות מבליחים שני קווים אפרפרים, ואני צריך להקיש על החץ הימני אם הקווים מבליחים על הנקודה ולהקיש על החץ השמאלי אם הם מבליחים מחוץ לנקודה. המבחן השני הוא מבחן של צורות. מציגים לי עיגולים, ריבועים ומשולשים שונים, ואני צריך לבחור איזו צורה היא הבאה בתור. "הגרייה החשמלית החלשה שלכם", אני אומר חלושות, "באמת די חלשה. יש קפה שחור? אני נרדם פה".

אחרי גריית הקפה מתחיל החלק המעניין – הגרייה החשמלית. טל מרטיב לי את הראש בתמיסת מלח ורועי מלביש עלי רצועת ראש ובראשה אלקטרודה. "טוב, אז עכשיו אנחנו הולכים לחשמל לך את הקורטקס הפרה־פרונטלי ב־1 מיליאמפר למשך עשר דקות", אומרת פרופ' לבידור. "בהתחלה תרגיש עקצוץ קל בגולגולת. אל תדאג, זו רק הגולגולת שלך שמתנגדת למתח החשמלי".

למה שהגולגולת שלי תתנגד למתח החשמלי? אולי המתח החשמלי לא טוב לה? אולי המתח החשמלי לא טוב לי?

ואז זה מתחיל. תחושה מעקצצת בקרקפת, קצת כמו התחושה בלשון כשמלקקים בטרייה (מה, אני היחיד שליקק בטריות כילד?), ופתאום אני מרגיש ערני מאוד. יכול להיות שזו סתם ההתרגשות מעצם המחשבה שמחשמלים לי את המוח, אבל חיש מהר אני מרגיש רענן כנמר צעיר בקיץ. אחר כך עורכים לי שוב את שני המבחנים – את מבחן הראייה ואת מבחן הצורות – אבל הפעם אני חד כעיפרון המחודד שבידי. משולש! עיגול בתוך משולש! ריבוע בתוך עיגול בתוך משולש!

בסוף הניסוי טל קורא לכולם את תוצאות האמת: "במבחן הראשון, שהיה מבחן הראייה, לא השתפרת, אבל זה היה הרעיון. בעצם בדקנו רכיב באינטליגנציה שלך שנקרא 'אינטליגנציה נוזלית', כלומר היכולת הגמישה לפתור בעיות חדשות, רכיב שאנחנו יכולים להשפיע עליו ישירות דרך הקורטקס הפרה־פרונטלי. המבחן החזותי הוא רק מבחן הביקורת, ובאמת לא השתפרת בו. במבחן הצורות,

בניסוי אחר, שערכה ד"ר לירון יעקובסון אצלנו במעבדה, הצלחנו לשפר בקרה קוגניטיבית, כלומר את היכולת של הנבדקים לעצור תגובה מתוכננת. אמנם ניסויים בהעצמה קוגניטיבית באמצעות TDCS התחילו רק ב־2003, אבל כבר היום מתפרסמים אלפי מחקרים מדי שנה. ואל תשכח שאני עצמי משתעשעת עם מוחות בריאים, אבל יש מגוון הולך וגדל של שימושים קליניים לטכנולוגיה הזאת, כמו טיפול בדיכאון או בהתמכרות".

סמי ריכוז וכימיקלים לזיכרון

לא צריך להרחיק לכת עד למעבדה של פרופ' לבידור כדי למצוא העצמה קוגניטיבית. אני ועוד רבים אחרים עוסקים בהעצמה קוגניטיבית זה כמה שנים, לעתים על בסיס יומיומי. למעשה, הקוגניציה שלי מועצמת ברגעים אלה ממש, תוך כדי כתיבת הכתבה. כדי להספיק לדד־ליין לקחתי כדור ריטלין. לא שאני זקוק לריטלין. מעולם לא אובחנתי כסובל מהפרעות קשב וריכוז – או ADHD – והסיבה לכך, כנראה, היא שאני לא סובל מהפרעות קשב וריכוז. להפך, אני

מאז הניסוי החלוצי עם הגן NR2B הונדסו גנטית למעלה מ־200 זנים חדשים של עכברים. לפחות 33 זנים חדשים הפגינו יכולות על־עכבריות בזמן הלמידה, בזמן התגובה לגירויים ובכושר הזיכרון לטווח הקצר והארוך

לעומת זאת, השתפרת גם בזמן התגובה וגם בתוצאות – שיפור של שמונה אחוזים".

"אני גאון! אני גאון!", אני מכריז בגאון.

"לחצי השעה הקרובה", מסייגת פרופ' לבידור. "כדי לחולל שינוי בר קיימא בקוגניציה שלך צריך לקיים פרוטוקול גרייה קבוע. אני בהחלט רואה עתיד עם מכשירי גרייה ביתיים להפעלה עצמית. הטכנולוגיה פשוטה מאוד, וכבר היום יש קבוצות פיראטיות של אנשים שמחשמלים את עצמם בבית. אבל אנחנו המדענים צריכים לאסוף עוד נתונים על השפעות הגרייה החשמלית לטווח הארוך. כרגע אנחנו בודקים מה קורה מיד אחרי הגרייה, או לכל היותר שבוע אחרי הגרייה".

– אבל אני לא רוצה רק אינטליגנציה נוזלית. אני רוצה להשתפר גם במבחן הנקודה האפורה! אפשר לחשמל אותי להצלחה בתחומים נוספים?

"יש לנו הרבה הצלחות עם ה־tDCS. טל, למשל, הראה שיפור בעיבוד פתגמים בניבים בעזרה גרייה חשמלית לאזור ורניקה של המוח.

קשוב כאמא תרזה ומרוכז כמיץ. אז למה אני עושה את זה לעצמי? כדי להשתפר, כמובן. כדי להתעורר אם לא ישנתי. כדי להתפכח אם השתכרתי. כדי להספיק בשלוש שעות את מה שמצריך חמש.

את הריטלין שלי אני קונה בשלושה שקלים לכדור של 10 מ"ג או בשישה שקלים לכדור קונצרטה של 30־40 מ"ג בשחרור איטי. אבל בדרך כלל אני לא משלם על הריטלין שלי בכלל. יש לי הסכם ברטר עם ידידי סמי: לו יש מרשם לריטלין, לי יש מרשם לזנקס. מנתונים של משרד הבריאות עולה שמשנת 2005 ישנו גידול של 10־15 אחוז בשנה בצריכת ריטלין וקונצרטה. בשנת 2010 אישר משרד הבריאות לרשום עד 90 מ"ג ריטלין ביום – ואז חל זינוק של 76 אחוז בצריכת הריטלין בישראל. ואם צרכת יותר מדי ריטלין ואתה לא יכול להירדם – קח קצת זנקס להירגע.

אני, הריטלין וישראל לא לבד: אחד הסמים הפופולריים בארצות הברית הוא אמפטמין, כלומר "ספיד", שמשווק תחת השם "אדרל" (Adderall) לכאורה לסובלים מהפרעות קשב וריכוז ולמעשה לכל מי

"אין היום כל מניעה לייצר בני אדם משודרגים – למעט המניעה האתית", אומר חוקר המוח פרופ' עידן שגב. "הנדסנו גנטית עשרות אלפי מינים חדשים, אז למה לא את עצמנו? מפרנקנשטיין ועד הגולם, אנחנו מפחדים ליצור תחליף טוב יותר פשוט כי אנחנו מפחדים שיחליפו אותנו"

שרוצה להוציא לעצמו את המיץ בלימודים או בעבודה. "מזל טוב!", נכתב באתר חברת התרופות. "על ידי נטילת אדרל אתה מראה את המחויבות שלך למימוש הפוטנציאל הגלום בך – ואת המחויבות שלך להיות האדם שנועדת להיות". לא פחות. לפי נתוני משרד הבריאות האמריקאי, בשנת 2011 ניתנו מדי חודש 14 מיליון מרשמים לסמי ADHD לבני 20 עד 39, עלייה של 250 אחוז בארבע שנים. עלייה של אלף אחוז בחמש שנים נרשמה במתן מרשמי ריטלין ואדרל לחיילים בשירות פעיל.

"במהלך שלוש השנים שלי בקולג'", מספרת מולי יאנג במגזין הניו יורקי n+1, "הייתי לוקחת אדרל פעם או פעמיים בשבוע. 20 דקות אחרי שלוקחים את הסם יש איזו התהדקות מנטלית, כאילו מישהו זיקק את מרחב הראייה שלך למבט צר אך חודר. ואז כל הסחות הדעת נמוגות (זה לא סם מומלץ לציידים או לשחקני כדורגל). במשך שלוש שנים המוח שלי, שהוא בדרך כלל יצור סרבן למדי, הפך לכלי שרת בידי הרצון שלי. היתרון הגדול של הסם הוא גם החיסרון הגדול שלו: הוא הופך את הכול למעניין. לקראת סוף הלימודים שלי פתאום הבנתי שאין לי מושג במה אני באמת טובה או מה באמת מעניין אותי".

לצד תעשיית סמי הריכוז משקיעות חברות התרופות הון עתק בכימיקלים לשיפור הזיכרון. רוב המחקר מרוכז בטיפול במחלות נוירולוגיות, אבל במוקדם או במאוחר יגיעו פירותיו לידיהם של דגי זהב שכמותי ולסטודנטים כמו מולי יאנג.

עצמה קוגניטיבית מעלה שורה של שאלות אתיות, שדחיפותן רק תגבר עם פיתוחם של כלים חדשים – תרופתיים ואחרים – לשדרוג היכולות השכליות. מעבר להשלכות הבריאותיות הלא ברורות של הטכנולוגיות והסמים הללו, עולה שאלת ההוגנות: האם זה צודק שסטודנט אחד יוציא ציונים טובים יותר כי הוא היה "בהשפעת סמים משפרי ביצועים"? מבחינה פילוסופית, אך לא פחות מכריעה חברתית ופוליטית, עולה שאלת הסוכנות: מי מוציא את הציון הגבוה – מולי יאנג או הסם שהיא נטלה? אם אוסרים על אתלטים להשתמש בסטרואידים בתחרויות, אולי צריכים לדרוש גם מסטודנטים לערוך בדיקת שתן לפני הבחינות?

אבל אולי הסוגיה המטרידה מכול היא היווצרותם של קריטריונים חדשים – ומחמירים מתמיד – לנורמה האנושית הבריאה. מכאן מתבקשת השאלה: מה יקרה כאשר צבאות יחייבו חיילים ליטול כדורים וחברות פרסום יאיימו לפטר את כל מה שיסרב לעבור גרייה חשמלית? אם אתה נוטל את גלולת הפלא – שכבר קיימת בשוק – שמקצרת את שנת הלילה שלך לשעתיים וחצי בלבד, לא זאת בלבד שאין זה הוגן להשוות את הספק העבודה שלך לשלי, אלא שלא מופרך להניח שעד מהרה יחייבו גם אותי לקחת את הגלולה, כי פתאום שנת הלילה הרגילה שלי תיראה כשמנמנות לשמה.

ייתכן שהדאגה מוקדמת מדי, שכן כלל וכלל לא בטוח שהסמים הללו, לפחות במתכונתם הנוכחית, מעצימים את מולי יאנג ואותי בטווח הארוך. "מעצימים תרופתיים מבטיחים למין האנושי עתיד חדש ומזהיר: יותר כושר ריכוז, כושר רצון וכושר זיכרון, עם יישומים רחבי היקף – מחינוך עד לשדה הקרב", מסבירים תומאס הילס מאוניברסיטת וורוויק וראלף הרטוויג מאוניברסיטת באזל במאמר חדש שפורסם בכתב העת Current Directions in Psychological Science. "אלא שהחזון הזה לא עולה בקנה אחד עם מה שאנחנו יודעים על האבולוציה של הקוגניציה. עדויות לאיזון הזה אנחנו מוצאים (א.) בעקומת ה־U ההפוכה של היכולת המועצמת בהתערבות פרמקולוגית ו־(ב.) בתופעות הלוואי של התערבויות כאלה על יכולות אנושיות אחרות". אם כן, היכולת הקוגניטיבית מועצמת לזמן מסוים, ואחר כך דווקא מוחלשת, והיא באה על חשבון יכולות אחרות, שמוחלשות במקביל.

כדוגמה לטרייד־אוף שבין העצמה להחלשה קוגניטיבית מעלים החוקרים באוב את המקרה המוזר של סולומון שרשבסקי, עיתונאי רוסי בעל זיכרון אינסופי. שרשבסקי אמנם לא שכח דבר, אבל הכישרון שלו בא עם תג מחיר. הבעות פנים, למשל, הוא לא קלט, בטענה שהן "משתנות כל הזמן". יתרה מכך, עם השנים החל המידע העצום שאגר בצעירותו לרדוף אותו, עד כדי אפיסת כוחות קוגניטיבית. שרשבסקי התקשה לישון, התקשה לקרוא והתקשה לחשוב.

"עלינו לשאול את עצמנו", מסכמים החוקרים, "למה לא התפתחנו להחזיק באותם כישורים שהסמים המעצימים מציעים לנו. אם, למשל, זיכרון משופר היה מועיל לנו, מדוע שינויים נוירומולקולריים מזעריים לכאורה, כמו ביטוי יתר של רצפטורים מסוג NMDA בהיפוקמפוס, לא קיימים באוכלוסייה באופן טבעי? לכאורה זהו פרדוקס אבולו־

ציוני... למעשה, העלות בדרך כלל גדולה מהרווח. כדי להעצים בעתיד את הקוגניציה שלנו באופן שיהיה מועיל באמת, עלינו להבין קודם את המגבלות הביולוגיות שמונעות מאיתנו להיות מועצמים בהווה".

להיות דוגי האוזר

אז אם הבעיה של הקוגניציה שלי מתחילה בביולוגיה שלי, האם אפשר לשנות אותה מן היסוד? בשנת 1999 פרסם כתב העת Nature מאמר על עכבר חדש בשם דוגי. את הזן החדש הנדס גנטית ג'ו טציין, נוירוביולוג מאוניברסיטת פרינסטון. עכבר הדוגי, שנקרא כך על שם דמות הנער המחונן מסדרת הטלוויזיה "דוגי האוזר", היה בעל החיים הראשון בעולם שהונדס גנטית על מנת להיות חכם יותר.

אחרי שהוכיחו כי הגבלת הגן NR2B פוגמת ביכולת הלמידה והזיכרון בעכברים, ניסו טציין ועמיתיו לעשות את ההפך: להעניק לעכברים עותקים נוספים של הגן ולהנדס אותם כך שיעילותם רק תגבר ככל שהעכבר מזדקן. החוקרים שלחו את עכברי הדוגי, ביחד עם קבוצת ביקורת של עכברים רגילים, לחקור שני חפצים במשך חמש דקות. אחרי כמה ימים החליפו החוקרים את אחד החפצים בחפץ אחר והחזירו את העכברים למבוך. העכברים הרגילים העניקו תשומת לב שווה לשני החפצים. הדוגי האוזרים, לעומת זאת, זכרו את החפץ הישן והתמקדו בחדש.

מאז הניסוי החלוצי של טציין עם הגן NR2B הונדסו גנטית למעלה מ־200 זנים חדשים של עכברים. רוב העכברים האלה סבלו מחסכים ומליקויים שונים כמו דמנציה ודיכאון, אבל לפחות 33 זנים חדשים הפגינו יכולות על־עכבריות בזמן הלמידה, בזמן התגובה לגירויים ובכושר הזיכרון לטווח הקצר והארוך.

"חוקרים גדולים בתחום הזה של העברה סינפטית כבר התחילו לחשוב על שימושים חיוביים לכל הטריקים הגנטיים שאנחנו עושים כדי לנוון את המוח לצורכי מחקר", אומר ד"ר איתמר קאהן ממכון רפופורט למחקר רפואי בטכניון, שחוקר מחלות מוח ניווניות כמו מחלת האלצהיימר. לדבריו, המחקרים שמשמשים אותנו היום להבנת מחלות ניווניות יוכלו בעתיד – ואולי יכולים כבר בהווה – לשמש אותנו להעצמה קוגניטיבית. "מבחינתי זה הרבה יותר מעניין מטיפול תרופתי זה או אחר, כי הנדסה גנטית, בניגוד לריטלין או לקפאין, נשארת איתך לכל החיים".

– כמו מה, למשל?

"כמו כל מה שאנחנו עושים כבר היום. אתן לך דוגמה: באופטוגנטיקה אנחנו משנים את הקוד הגנטי כדי שתאי העצב אצל עכברים יהיו רגישים לאור במקום למתח. בעצם אנחנו מוסיפים סוויץ' חדש, שמקל עלינו לחקור את מוח העכבר: אתה רק מדליק את האור, ותעלות סינפטיות חדשות נוצרות לך מול העיניים. את הטריקים האלה אפשר, תיאורטית, ליישם גם בבני אדם. מה אם נהנדס גנטית חלבונים שיהיו יעילים יותר, כך שהתעלות הסינפטיות ייווצרו מהר יותר? מה אם נשפר את הקינטיקה של התעלות, כלומר את הזמן שלוקח להן להיפתח ולהיסגר, אפילו בעשרה אחוזים"?

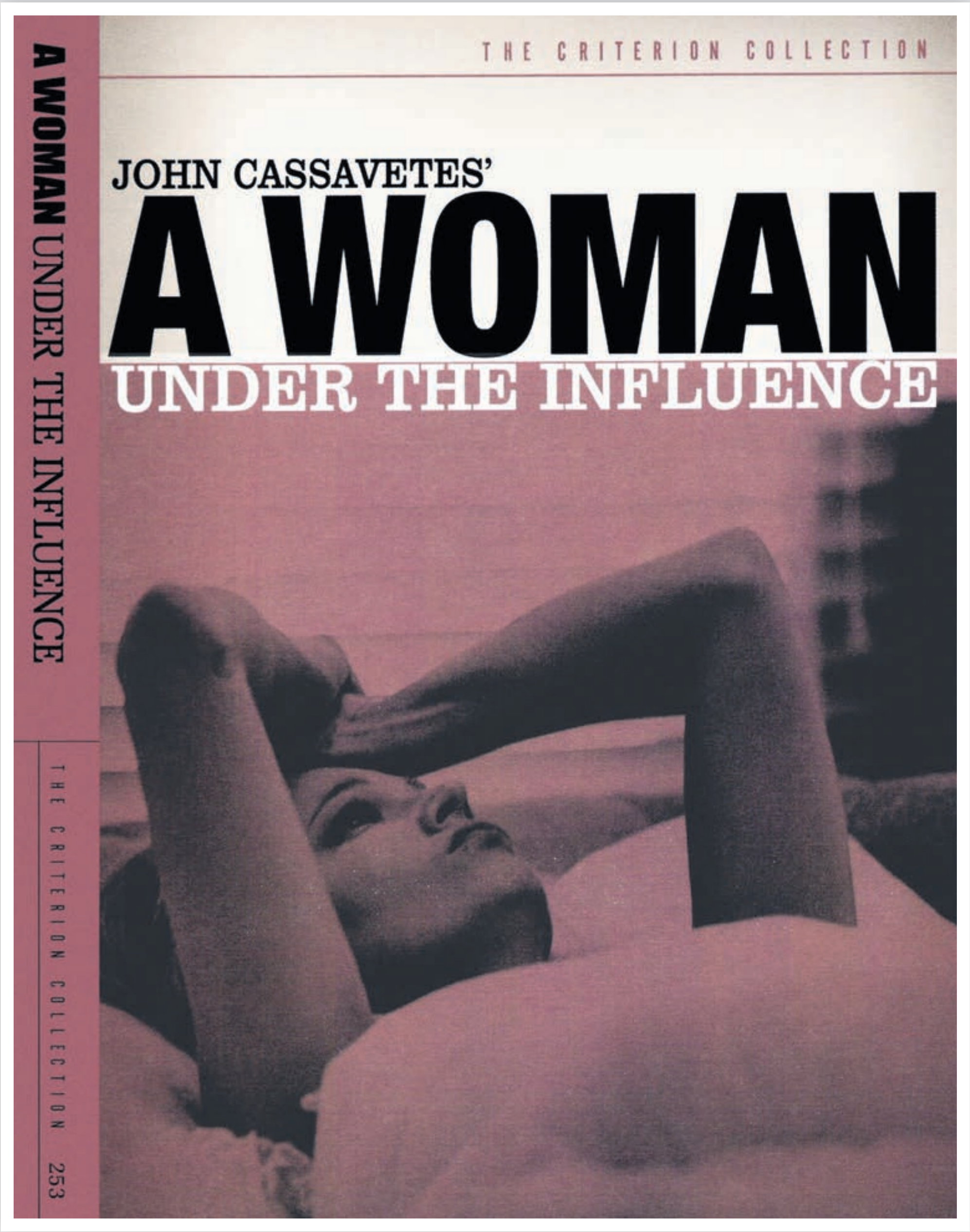
– אתה יכול לעשות אותי חכם יותר בעשרה אחוזים?

לאו דווקא בעשרה אחוזים. מדובר במערכת מורכבת ומדויקת מאוד, שאנחנו רק מתחילים להבין את כל מנגנוניה. יכול מאוד להיות ששינוי גנטי קל, כמו פתיחה וסגירה של תעלות סינפטיות במהירות גבוהה בעשרה אחוזים, יביא ליכולת זיכרון, למידה או חישוב משופרת פי ארבעה או יותר. מצד שני, יכול מאוד להיות ששינוי גנטי קל יביא לקריסת מערכות כללית, כמו שאנחנו רואים לא אחת אצל העכברים. אני חושב שהשאלה החשובה שצריך לשאול היא האם אנחנו כחברה נעשה מאמץ מכוון לפתח שיטות להעצמה קוגנטיבית, או שנמשיך, כמו עכשיו, לחקור את הפוטנציאל להעצמה קוגניטיבית רק בתהליך של 'הנדסה הפוכה' מחקר המחלות הניווניות".

"האמת היא שאין היום כל מניעה לייצר בני אדם משודרגים – למעט המניעה האתית", מסכים פרופ' עידן שגב, חבר במרכז לחישוביות עצבית באוניברסיטה העברית ושותף ב"פרויקט המוח האנושי". "הנדסנו גנטית עשרות אלפי מינים חדשים, אז למה לא את עצמנו? יודע מה, זה אפילו לא עניין של אתיקה – זה עניין של מגלומניה במסווה של אתיקה. מפרנקנשטיין ועד הגולם, אנחנו מפחדים ליצור תחליף טוב יותר פשוט כי אנחנו מפחדים שיחליפו אותנו".

– כן, אבל יד אחת לא רוצה להנדס אדם מועצם קוגניטיבית, כי אנחנו לא באמת מבינים את ההשלכות של זה על העתיד, ואילו היד השנייה נותנת 40 מ"ג ריטלין לילד בן ארבע. מה אנחנו יודעים על העתיד של הילד הזה? מה אנחנו יודעים על מוח של אדם שנטל ריטלין או אדרל כל חייו?

"אין מה לעשות, כשאתה רואה את המצוקה לידך, כמו המצוקה של ילד שלא מצליח ללמוד, אז אתה תיתן לו את כל מה שאפשר לתת לו ותשכח מההשלכות לטווח ארוך. תבין: אנחנו (עדיין) לא מכונות. השיקולים שלנו רחוקים מלהיות רציונליים לגמרי. וזה לא רק עם כדורים כמו ריטלין, אנחנו גם לא לגמרי מבינים למה גרייה חשמלית באזור הזה מוציאה אותך מדיכאון ובאזור ההוא – משפרת את היכולת שלך לחשב חשבון. המדע שלנו עוד גס, והוא לא שונה בהרבה ממכות החשמל שפעם נתנו לטיפול במוסדות פסיכיאטריים: אם אנחנו רואים שמשהו עובד אז נמשיך איתו, גם אם אנחנו לא באמת מבינים למה הטיפול עובד או מה השפעות הטיפול לטווח הארוך". ✕



אישה תחת השפעה

בחוגים לסוציולוגיה נהוג ללמוד את מאמרה של בטי פרידן "הבעיה שאין לה שם". המאמר שלה מתאר תופעה פסיכולוגית נפוצה בשנות החמישים והשישים, שבה סבלו נשים אמריקאיות מדיכאון לא מאובחן. זהו דיכאון שנבע מהפער בין הציפיות החברתיות להיות עקרות בית, אמהות ורעיות, לבין הרצון למימוש עצמי. ג'ינה רולנדס היא האישה הזו. סרט מקווצ'ץ לב, משוחק נפלא. עוד הוכחה ארוכה בשרשרת ההוכחות שהאישי, כשהוא נעשה כמו שצריך, הוא גם הכי אוניברסלי. "סיפור על אהבה וחושך" של עמוס עוז הוא כזה; שיריו של יהודה עמיחי; הפורטרטים העצמיים של רמברנט.

המשך בעמ' 69 ◄

תרגיל חירום של פיונירים צעירים בלנינגרד, 1937 | צילום: ויקטור בולה

מיתוס הנשק כימי

על אף שקרוב ל־100 אלף בני אדם נהרגו בסוריה, האשימה ארצות הברית את אסד בחציית קו אדום המחייבת התערבות בינלאומית רק לאחר שהשתמש להערכתה בנשק כימי. האמנם כלי נשק זה – שלפי המודיעין האמריקאי גרם למותם של לא יותר מ־150 איש במלחמה – אכן שונה מבחינה מוסרית משאר כלי הנשק "הקונבנציונליים"? סקירה היסטורית חושפת את הדרך המפתיעה שבה הקהילה הבינלאומית בידלה את הנשק הכימי מכלי המשחית האחרים

ד"ר איתן ברק

מאז אפריל 2012, עת נטען לראשונה בכותרות העיתונים כי כוחות אסד השתמשו בנשק כימי במלחמת האזרחים בסוריה, דומה כי לא חלף יום מבלי שנשק זה זכה לאזכור מכובד בתקשורת, ובהקשר מאיים כמובן. יתרה מכך, שימוש בנשק זה, בניגוד לאמצעי לחימה אחרים, הוגדר פעם אחר פעם כחציית הקו האדום של המערב שתגרור התערבות צבאית במדינה המדממת.

נכון לכתיבת שורות אלה, כ־100 אלף בני אדם נהרגו בסוריה. ב־13 ביוני הודיע האו"ם על אומדן של 93 אלף הרוגים לכל הפחות, בציינו כי ייתכן שהמספר גבוה אף יותר. באותו יום ממש הודיע הבית הלבן כי קהילת המודיעין האמריקאית מעריכה ש־100־150 אנשים מתו כתוצאה משימוש בנשק כימי. אם כן, עולה השאלה כיצד נשק זה, שאחראי למותם של 0.1 אחוז בלבד מכלל ההרוגים במלחמת האזרחים הסורית, הפך לסמן של חילול טאבו וחציית קו אדום – והאם סימון ייחודי זה מוצדק.

גם בישראל אומץ ללא סייג הדימוי המאדיר את הנשק הכימי כ"פצצת האטום של העניים" (poor man's atomic bomb) – ביטוי שהוטבע בידי נשיא איראן לשעבר, עלי אכבר האשמי רפסנג'אני, בהיותו דובר הפרלמנט האיראני ב־1988[1]. אמנם נשמעה כאן לאורך השנים ביקורת לגבי הסיקור ההיסטרי של איום הנשק הכימי בתקשורת הישראלית, שנתפס כניסיון ציני של עורכי העיתונים להגדיל את תפוצת מוצרם. אך ביקורת זאת היתה מוגבלת מעיקרה: היא לא התייחסה לשאלה העקרונית יותר, בדבר אפקטיביות נשק זה, והאם ההיסטריה בהקשרו בישראל ובעולם מוצדקת. לו שאלה זו הייתה נשאלת, הרי במענה לה ניתן היה לתקן עיוותי תפיסה ומידע מוטעה שרווחים כיום בציבור.

יש להודות כי שיפוט לקוי בנוגע לערכו של הנשק הכימי נפוץ למדי, והוא מאפיין ממסדים צבאיים בעבר ובהווה. בתודעה הציבורית מבוסס שיפוט זה על טאבו מוסרי חמור בן יותר ממאה שנה. אך האם יש הצדקה ממשית לטאבו שמיוחס לנשק הכימי, בהשוואה לכלי נשק קונבנציונליים? והאם הטאבו הזה הוא הסיבה המרכזית לאי שימוש בכלי הנשק הכימיים בידי צבאות העולם?

תשובה ראשונית לשאלות אלה עולה ומתבהרת כאשר אנו בוחנים שתי נקודות ציון בהיסטוריה שקיבעו את מעמדו המשפטי הבינלאומי של הנשק הכימי כנשק אסור. מתברר שקביעות אלה נערכו ללא כל מחקר מבוסס, אך משהתקבלו – הן תרמו לגיבוש הטאבו שנוצר סביב השימוש בנשק זה.

שתי ההכרעות ההיסטוריות שקיבעו את מעמדו המשפטי הבינלאומי של הנשק הכימי כנשק אסור נערכו ללא כל מחקר מבוסס, אך משהתקבלו – הן תרמו לגיבוש הטאבו שנוצר סביב השימוש בנשק זה

ההכרעה המשפטית הראשונה בסוגיה זו התקבלה כבר בסוף המאה ה־19. ביולי 1899 פרסמה ועידת האג הראשונה הצהרה האוסרת על שימוש ב"פגזים שמטרתם היחידה היא להפיץ גזים

מחניקים או מזיקים". מרגע זה ואילך נתפש גיבוש האיסורים באמנות השונות לאחר מלחמת העולם הראשונה, כפרוטוקול ז'נבה מ־1925, בחזקת אשרור של אותו איסור מ־1899. אלא מאי, האיסור הזה היה נטול כל ביסוס מדעי. למעשה, הוא התקבל ללא קושי רק כיוון שהנשק הכימי היה באותה העת נשק עתידי שעוד לא היה בר ביצוע.

ההכרעה השנייה שתרמה לעיצוב מעמדו ודימויו של הנשק הכימי היא החלטת ועדת האו"ם לחימוש קונבנציונלי באוגוסט 1948 להכליל את הנשק הכימי במסגרת הגדרת נשק להשמדה המונית (Weapon of Mass Destruction – WMD). אך עיון במסמכים מלמד שגם להגדרה הזאת לא קדם כל הליך בחינה מדעי כמצופה. הסיבה לכך פשוטה: עם כינון הוועדה, היא נדרשה להחליט בראש ובראשונה מה נופל במסגרת סמכותה, קרי, נשק קונבנציונלי מהו? לשם פישוט הליכי העבודה הציעה ארצות הברית הגדרה של נשק קונבנציונלי על דרך השלילה: נשק קונבנציונלי הוא כל נשק שאינו בגדר נשק להשמדה המונית – WMD – ועל כן ניתנה קודם כול הגדרה לנשק להשמדה המונית. כיוון שתפקיד הוועדה היה בראש ובראשונה עיסוק בנשק קונבנציונלי, הגדרת הנשק הלא־קונבנציונלי נעשתה בלי ההעמקה הנדרשת. עיון בפרוטוקול ישיבת הוועדה המכריעה מצביע כי לא התקיים שום דיון בדבר הלימות האמצעים שהוזכרו להגדרה. למעשה, הנציג האוסטרלי בדיון אף טרח להבהיר לנוכחים כי תפקיד ועדת העבודה "הוא לקבוע את סמכות הוועדה ולא להגדיר WMD". התוצאה הסופית הייתה שרשימת כלי נשק שהוגדרו כ־WMD כללה זה לצד זה נשק אטומי, ביולוגי וכימי וכלי נשק עתידיים עם עוצמת הרס דומה.

אם כן, הגדרת הנשק הכימי כ־WMD נבעה מטעמים ארגוניים גרידא, להבדיל מטעמים מהותיים הקשורים לעוצמת ההרס הטמונה בנשק. אך העובדות היבשות הללו נשכחו זה מכבר, ובתודעת רבים תפש הנשק הכימי את מקומו לצד נשק אטומי וביולוגי, כבעל משקל זהה.

כדי להבין לעומק מדוע נשק כימי לא היווה חלק מהארסנל הקבוע של רוב צבאות העולם, עלינו להציב את ההכרעות המשפטיות האלה בהקשר רחב יותר ולסקור את ההיסטוריה המודרנית של השימוש והאי שימוש בנשק כימי. סקירה זו תבהיר שהטאבו המוסרי אינו מעניק הסבר מספק לשימוש המועט בנשק הכימי, ואף תראה כי הטאבו עצמו אינו מוצדק – אם משווים אותו לתפישות הנורמטיביות הקיימות לגבי כלי נשק קונבנציונליים.

תקדים לא מבטיח

נשק כימי הופעל לראשונה בהיקף נרחב בעת מלחמת העולם הראשונה, אולם בניגוד לכלי נשק אחרים אשר הופיעו לראשונה בהיקף נרחב באותה מלחמה, כמו הטנק או הצוללות, או כמו הרקטות במלחמת העולם השנייה, הנשק הכימי לא הצליח להפוך לנשק שמיש ומקובל בצבאות העולם. מדוע?

הסבר אינטואיטיבי – שמאמץ את החלטת ועדת האו"ם לחימוש קונבנציונלי – עשוי לכרוך את גורלו של הנשק הכימי בגורל הנשק הגרעיני. לפי הסבר זה, בשני המקרים עסקינן בכלי נשק להשמדה המונית, וככאלה הם נחשבים "נשק יום הדין" אשר השימוש בהם יתרחש רק כאשר כלו כל הקיצין.

אולם ההיסטוריה מפריכה הסבר זה. בשלהי מלחמת העולם השנייה נמנעו מדינות, ובראשן גרמניה, מלהשתמש בנשק כימי במצבי מוצא אחרון, גם כאשר הישרדותן כמדינות עצמאיות ניצבה בסכנה. יתרה מכך, כאשר מדינות כן עשו שימוש בנשק כימי בשנים שמאז המלחמה, הרי שהן עשו זאת לאו דווקא כאשר כלו כל הקיצין מבחינתן. עלינו לפסול, אם כן, את הסברה שלפיה הנשק הכימי לא נהפך למקובל כיוון שהוא נתפש כ"נשק יום הדין".

עם זאת, לא ניתן להתעלם מהעובדה שמתוך מאות עימותים מזוינים שאירעו מאז 1945, מדינות השתמשו בנשק כימי במקרים ספורים בלבד. כאן, למעשה, מצויה התשובה המרכזית לשאלה מדוע נדחה על ידי מרבית צבאות העולם: בחינת מקרי השימוש והאי שימוש בנשק כימי וחישוב השפעתו הצבאית מראים כי כישלונו של הנשק הכימי להשתלב כראוי בארסנל צבאות העולם נובע מערכו הצבאי המפוקפק של נשק זה.

השימוש הנרחב הראשוני בנשק כימי דווקא נחשב כהצלחה. היה זה באפריל 1915, כאשר גרמניה השתמשה בגז כלורין באיפר אשר במערב בלגיה. אולם ניתן לייחס הצלחה זו בעיקר לחדשנות שבשימוש בנשק. מתקפת גז מסיבית יותר, אשר אירעה רק חודש לאחר מכן באותה הזירה, לא הניבה כבר כל הישג, למרות שאמצעי ההגנה הזמינים בידי החיילים המותקפים הסתכמו בפיסות בד ספוגות נוזלים, בעיקר שתן. הגייסות, כתב ההיסטוריון הצבאי סיריל פולס, "לא נרתעו אף לא שעל אחד".[2]

לאחר תקדימים אלה פנו שני הצדדים במלחמה לשימוש מסיבי בנשק כימי. אך הודות להכנסת אמצעי הגנה יעילים יותר, לא הצליחה הפעלת נשק כימי להביא לפריצה משמעותית בקווי ההגנה של הצד המותקף. למעשה, גם המונופול הגרמני על השימוש בחל"כ (חומר לחימה כימי) מסוג חרדל, שנמשך מקיץ 1917 ועד לסתיו 1918, לא הצליח להביא לשינוי מצב זה.

אכן, מותם של 91,200 חיילים מיוחס לשימוש הנרחב שנעשה בנשק כימי במלחמת העולם הראשונה. אך בהשוואה למספר הכולל של חללי אותה מלחמה נוראה – מעל ל־15 מיליון בני אדם, לכל הפחות – הרי שמדובר במספר חללים נמוך יחסית מבחינה אסטרטגית. מחקרים חדשים אף מראים כי רבות מהאבדות המיוחסות לנשק

חיילי חי"ר אוסטרלים בחפירות במהלך קרב פשנדל בבלגיה, 1917

צילום: פרנק הורלי

תכנון מתקפה כימית מוצלחת במינון ראוי אינו בגדר משימה קלה כלל ועיקר. שימוש בנשק כימי דורש רמה גבוהה של משאבים טכניים, דרישות לוגיסטיות כבדות, חיילים מיומנים ועוד

מחקרים בנוגע לשאלת האי שימוש בנשק כימי במלחמת העולם השנייה מצאו כי חשש הצדדים מתגמול מסיבי כמו גם קשיים לוגיסטיים והערכת האפקטיביות הנמוכה של הנשק, היו גורמים בעלי השפעה מכרעת

כימי נגרמו בשל אי חבישת מסכת מגן או הסרתה בטרם עת. אין זה מפתיע שמחקר בריטי רשמי על אודות מלחמת העולם הראשונה סיכם את השפעת הנשק הכימי כלהלן: "Gas achieved but local success, nothing decisive; it made war uncomfortable, to no purpose".[3]

תועלת צבאית מפוקפקת

זעקת דעת הקהל לאחר מלחמת העולם הראשונה הובילה לכך שבכל אמנות השלום שנכפו על המנוצחים נכלל סעיף מפורש אשר נפתח בהצהרה כי "השימוש בגזים מחניקים, מרעילים, או בגזים דומים וכן בכל נוזלים, חומרים או התקנים (devices) אסור הוא".[4] מקץ מספר שנים הובילה אותה תרעומת לגיבוש ולניסוח פרוטוקול ז'נבה ב־1925 בדבר איסור השימוש בנשק כימי ובקטריולוגי.[5]

אך עם כל ההערכה להשפעת הטאבו המוסרי ודעת הקהל העולמית, לא היה בהם די כשלעצמם כדי למנוע כל שימוש בנשק כימי. על אף פרוטוקול ז'נבה בדבר איסור שימוש בנשק כימי, שנוסח בעקבות מלחמת העולם הראשונה, פיתחו ואגרו הצדדים השונים לפני – ובעיקר במהלך – מלחמת העולם השנייה ארסנל מרשים של נשק כימי. אולם למעט הפעלה בלתי מכוונת באיטליה בדצמבר 1943 והמשך הפעלת נשק כימי בידי כוחות יפן בסין, הארסנל הכימי נותר בלא שימוש. אמנם התחושה הכללית של תיעוב מצד ההנהגות בנוגע לשימוש בנשק כימי (כמו גם ביולוגי) תרמה תרומה חשובה להעדר הנשק הכימי ממלחמה זו[6] – היטלר עצמו, כזכור, נפגע מהתקפה כימית קשה מצד הבריטים, באוקטובר 1918.[7] אך מחקרים בנוגע לשאלת האי שימוש בנשק כימי מצאו כי חשש הצדדים מתגמול מסיבי היה גורם בעל השפעה מכרעת, לצד גורם נוסף: העדר נכונות מצד הממסד הצבאי להיעזר בנשק זה בשל קשיים לוגיסטיים והערכה רציונלית בדבר האפקטיביות הנמוכה שלו, בייחוד לאור העובדה שכל צד סבר שלאויבו אמצעי מיגון הולמים. ההיבטים הטכניים והתועלתניים של השימוש, כגון התלות בסביבה הנדרשת בשימוש בנשק זה, אובדן השליטה על הנשק לאחר הפעלתו, הלוגיסטיקה הכבדה הכרוכה בהפעלתו והזמינות של חלופות ראויות אחרות שהיו אפקטיביות, תרמו לאי שימוש בנשק כימי במלחמת העולם השנייה לא פחות מהטאבו. כפי שהתבטא מפקד הכוח הכימי הגרמני, הגנרל הרמן אושנר, עת התייחס לתועלת בשימוש בנשק כימי באסטרטגיית הבליץ־קריג הגרמני, "גז לא נחשב כנשק יעיל בהשוואה לסוגי תחמושת אחרים".[8]

מסקירת העימותים המעטים מאז מלחמת העולם הראשונה שבהם נעשה שימוש מאומת בנשק כימי – כדוגמת איטליה בחבש (1935־1940) ומצרים בתימן (1963־1967) – ניתן לראות כי הכוחות

המותקפים חסרו, לכל הפחות בשלבים הראשונים של השימוש, ציוד מגן. אפילו בנוגע למקרה השימוש היחיד המאומת בעימות בין־מדינתי מאז מלחמת העולם הראשונה – מלחמת איראן־עיראק – כל שמצאו מומחים צבאיים הוא השפעות טקטיות קלות, ומכאן סיכמו כי השפעת הנשק הכימי בידי עיראק הייתה בעיקרה פסיכולוגית.

נגד חסרי ההגנה

כל חומרי הלחימה הכימיים המצויים כיום בארסנל צבאות העולם פותחו לכל המאוחר בשנות החמישים של המאה שעברה, חרף ניסיונות חוזרים ונשנים של הממסדים הצבאיים בעבר למצוא חומרים נוספים. לכן אין סוגים רבים של חומרי לחימה כימיים. מסיבה זו ניתן להעריך את יעילותם של החומרים הנמצאים, בין השאר, בידי חלק ממדינות ערב, ובהם חרדל, סארין ו־VX. כך למשל נמצא כי לגרימת אבדות כבדות לכוח לא מוגן בשטח של קמ"ר בודד נדרשים טון סארין או חמישה טונות נשק כימי מסוג חרדל. במונחי תחמושת מדובר בשימוש ב־300 פגזי 155 מ"מ, או לחלופין כשבע פצצות אוויריות במשקל 250 ק"ג כל אחת. אלא שנתונים אלה מבוססים על תנאים מטאורולוגיים רגילים כגון רוח קלה. שינויים במזג האוויר, כמו גם שינויים גיאוגרפיים בתוואי השטח, עשויים לחייב הכפלה של הכמות הנדרשת של התחמושת – עד פי עשרה. במספר מקרים במהלך מלחמת העולם הראשונה אף גרמו תנאי מזג האוויר למצב האבסורדי שהצד המותקף לא היה ער כלל ועיקר לעצם ההתקפה. כך קרה בשימוש בריטי בנשק כימי בהתקפה על עמדות התורכים בשערי עזה באפריל 1917.[9]

רוצה לומר, תכנון מתקפה כימית מוצלחת במינון ראוי אינו בגדר משימה קלה כלל ועיקר, ובייחוד אמורים הדברים במסגרת מבצעים ניידים. שימוש בנשק כימי דורש רמה גבוהה של משאבים טכניים, דרישות לוגיסטיות כבדות – דוגמת אספקת תחמושת כימית קטלנית, ציוד טיהור, שירותים רפואיים הולמים – חיילים מיומנים ועוד.

אכן, אם הכוחות המותקפים חסרים אמצעי הגנה, הרי שבתנאים מסוימים תחמושת זו יעילה מבחינה צבאית ואף עולה על משקל זהה של חומרי נפץ. משמע, לנשק כימי יש פוטנציאל לאפקט הרסני אם המטרה היא אזרחים חסרי הגנה, כמו שהודגם בהתקפת סדאם חוסיין על חלבג'ה הכורדית־עיראקית במארס 1988. אולם מערכת

חייל אמריקאי
בתרגיל התגוננות,
1944

הגנה אישית מודרנית (מסיכות, כפפות וכו'), כמו גם כלי רכב ומחסות המצוידים במסננים, מספקים כעיקרון הגנה מושלמת. אין הגנה אפקטיבית מקבילה נגד נשק קונבנציונלי, קל וחומר נגד נשק גרעיני. במובן זה נשק כימי הוא אכן ייחודי.

אם נתעלם לרגע מן האפקט הפסיכולוגי, הרי שלנשק כימי אין ערך מהותי נגד כוחות צבא בשדה הקרב או נגד אוכלוסייה אזרחית המצוידים בציוד הגנה מודרני, והוא לבטח לא ראוי להיחשב כ"נשק האטום של העניים". זאת ועוד, יתרונו הבולט העיקרי של נשק זה, אף כנגד כוחות מוגנים, הוא כוחו להאט את קצב הפעולה הצבאית. אך יתרון זה, אשר בתנאים מסוימים יכול להעניק לנשק יעילות הרסנית – למשל, הפעלה גרמנית בעת נחיתת בעלות הברית בנורמנדי במלחמת העולם השנייה – צריך, לכל הפחות, לקזז את ההפחתה בעוצמת האש הקונבנציונלית בגין השימוש בתחמושת כימית, וחשוב מכך, את הסיבוך הנגרם לפעולות הצד המפעיל נשק כימי בתנאים אלה.

אם כן, להסבר הצבאי חלק ניכר בהבנת הטעם לשימוש המועט שנעשה בנשק זה ולעובדת הפעלתו בעיקר נגד כוחות אשר חסרו, ולו בשלב הראשוני, ציוד מגן. יתרה מכך, הסבר זה מבהיר מדוע רוב הצבאות המודרניים טרחו להצטייד בציוד מגן, בעוד רק מיעוט מבוטל מהם טרח להצטייד בנשק עצמו. כיום חברות באמנה להכחדת הנשק הכימי, אשר נכנסה לתוקף כבר באפריל 1997, כ־188 מדינות! כך למעשה המדינות היחידות שחשודות בהחזקת ארסנל נשק כימי בר תפעול הן צפון קוריאה, סוריה, ישראל, וחשדות קיימים גם באשר למצרים. כפי שטען מפקד בכיר בצבא עיראק באוזני פקחי אונסקו"ם בשעתו, נראה שערכו הצבאי של הנשק אינו העיקר.

בנוסף, כפי שהדגימו תוצאות הפיגוע הכימי ברכבת התחתית בטוקיו במארס 1995, הקושי לבצע שימוש מושכל בנשק קיים גם ביחס להפעלתו בידי קבוצות טרור: חרף העובדה שבתי החולים טיפלו באלפי בני אדם בגין האירוע ו־122 הוגדרו כפגועים קשה, קציר המוות הסופי היה 12 בני אדם. מאחר שהפיגוע בוצע בשעות עומס, הרי שלמרבה האבסורד ייתכן שהייתה ברכה בהימנעות כת האמת הצרופה (Aum Shinrikyo) משימוש בחומר נפץ רגיל. בפיגוע ההתאבדות בדולפינריום ביוני 2001, למשל, לא נעשה אמנם שימוש ב־11 מכלי פלסטיק ממולאים בחל"כ עצבים מסוג סארין כבטוקיו, אך, לשם השוואה, די היה בשלושה ק"ג חומר נפץ כדי להביא למותם של 21 נערים ולפציעת מעל 100 נוספים, בהם נערים לא מעטים שנותרו פגועים לכל חייהם.

נשק פוליטי

לאור ההשפעה – ולו המוגבלת – של הטאבו המוסרי שהתגבש לגבי שימוש בנשק כימי, עולה שאלה: האם ישנה הצדקה לייחס

כיום חברות באמנה להכחדת הנשק הכימי, אשר נכנסה לתוקף כבר באפריל 1997, כ־188 מדינות. המדינות היחידות שחשודות בהחזקת ארסנל נשק כימי בר תפעול הן צפון קוריאה, סוריה, ישראל וכנראה גם מצרים

כפי שהדגים הפיגוע הכימי ברכבת התחתית בטוקיו ב־1995, הקושי לבצע שימוש מושכל בנשק כימי קיים גם ביחס להפעלתו בידי קבוצות טרור. למרבה האבסורד ייתכן שהייתה ברכה בהימנעות הכת משימוש בחומר נפץ רגיל

השוואת נזקים

בחינת תהליך גיבוש פרוטוקול ז'נבה ב־1925 בדבר איסור השימוש בנשק כימי ובקטריולוגי מעוררת תהייה קשה: מדוע המדינה אשר הציעה את נוסח הפרוטוקול – ארצות הברית – נמנעה מלאשרר את חתימתה על אותו פרוטוקול במשך חמישים שנה, עד 1975? תהייה זו גוברת לאור העובדה כי לא היה כל חידוש בנוסחו של פרוטוקול זה: הוא הועתק בשינויים קלים מן האמנה בדבר שימוש בצוללות ובגזים ארסיים בלחימה. לא זו בלבד שגם באמנה קודמת זו ארצות הברית היא שהציעה את נוסח הסעיף המתייחס לשימוש בנשק כימי, הרי שארצות הברית גם אשררה את האמנה כבר ב־1923. אז מדוע סירב הסנאט האמריקאי לחזור ולאשרר נוסח זהה במסגרת פרוטוקול ז'נבה?

התשובה נעוצה בכך שסנאטורים חשובים השתכנעו מהסברי הלובי האינטנסיבי של שירות הכימיה האמריקאי, ומפקדו הכריזמטי עמוס פריש, שלפיו עסקינן בנשק אשר מבחינה הומניטרית נזקיו קטנים ביחס לנשק קונבנציונלי כמו מקלעים, רימונים ורובים. השינוי בעמדת הסנאטורים נבע ממחקרים שפרסם שירות הכימיה, אשר הכילו נתונים אמפיריים בהתבסס על תחקור מעמיק ושיתוף פעולה עם חיל הרפואה בארצות הברית.

לצד שלל מחקרים על היבטי השימוש ומספרי הנפגעים בפועל ממלחמת העולם הראשונה, נבחנו סוגי החל"כ אשר הופעלו במלחמה זו לאור אמות המידה שהיו מקובלות אז למדידת ה"אי אנושיות" הגלומה באמצעי לחימה (במינוח המודרני, מדובר בסבל מיותר או בנזק עודף אשר ייגרם בשל פגיעת אמצעי לחימה). הממצאים הראו כי חל"כ עדיף בהקשר זה על אמצעי לחימה קונבנציונליים. כך, למשל, נמצא כי סבירות המוות כתוצאה מפגיעת חימוש רגיל גבוהה פי 12 מפגיעת חל"כ, ולטענות בדבר עיוורון שאינו זמני או נטייה לחלות בשחפת כתוצאה מפגיעת חל"כ אין כל ביסוס אמפירי.

לנוכח נתונים אלה חזרו בהם הסנאטורים מעמדתם. כפי שהתבטא באומץ יו"ר ועדת הסנאט לנושאים צבאיים, ג'יימס וודסוורת' ג'וניור, בפתח דברי התנגדותו לאשרור הפרוטוקול: "אני חושב שזה הוגן לומר שב־1922 הייתה היסטריה רבה והיה מידע כוזב רב באשר ללוחמה כימית... השפעות כלי נשק זה לא נלמדו בשעתו במידה שיכולה הייתה לאפשר למידע אודותיו להגיע לציבור. היו אז תפישות מוטעות לרוב באשר להשפעותיו ובאשר לאופי הלוחמה הכרוכה בשימוש בו".[10]

דווקא לנשק זה את הטאבו, בניגוד לשאר כלי הנשק הקונבנציונליים? היו מי שניסו להסביר – ולהצדיק – את הטאבו על בסיס העובדה שבניגוד לכלי נשק אחרים, הנשק הכימי אינו מתוחם למקום ולזמן שבו מתרחש הקרב. כלומר, כמו נשק גרעיני, הוא מותיר זיהום גם אחרי סוף הקרבות. אך טענה זו בעייתית, שכן היא נכונה רק לגבי חלק מסוגי החל"כ (אלה הקרויים חל"כ מתמיד); חל"כ מסוג סארין, שבו נעשה שימוש בסוריה, הוא נדיף ביותר ובעל חיי מדף קצרים ביותר. בנוסף, כלי נשק קונבנציונליים רבים, כמו פצצות מצרר המכילות מספר רב של פצצונות שחלקן הופך לנפל, מותירים חותם ומהווים סכנה גם לאחר סיום הקרב. יתרה מכך, באשר לחיילים עצמם, הרי ברור שנזקי כלי הנשק הקונבנציונליים מותירים גם הם את חותמם מחוץ למקום הקרב ומעבר לזמן התרחשותו. יש לזכור עובדה נוספת שהיא ברורה מאליה: נשק כימי אינו הורס ציוד צבאי או מתקנים. זיהום – הבעיה השכיחה בסוגי חומר לחימה כימי שאינו נדיף – דווקא עדיף בהרבה מהרס.

בשורה התחתונה, קשה לומר שנשק כימי בעייתי יותר מבחינה מוסרית מכלי נשק קונבנציונליים, וקשה למצוא הבדלים מהותיים בין סוגי כלי הנשק מעבר לדימוי המחריד שהודבק רק לנשק הכימי.

לאור התייחסות המערב לגביו, והטאבו שהוצמד לו, הפך הנשק הכימי לנשק פוליטי בעיקרו. אולם למרות שהפעלתו אכן מהווה חציית מפתן פסיכולוגי מסוים, הרי שמלחמות המפרץ הראשונה והשנייה, כמו גם המאורעות הנוכחיים בסוריה, מלמדים יותר מכול כי הנשק הכימי נכשל גם במבחן הפוליטי. חרף ההיסטריה – שבהקשר הישראלי תורמים לה לא מעט אינטרסים פוליטיים, מאבקים ביורוקרטיים ותקשורת נלהבת – נכשל הנשק הכימי בעבר ובהווה בהרתעת מעצמות המערב מתוכניותיהן. ניתן לקבוע כי לא היה בכוחו להביא לשינוי יסודי בתפישת המציאות – אותו שינוי המקושר עם הימצאות נשק גרעיני בידי צד לוחם בהקשר של מלחמה שאינה מוגבלת. משמע, עצם הימצאות נשק כימי בידי צד לעימות לא הביא עדיין – בניגוד לנשק גרעיני – לשינוי ההקשר הצבאי־פוליטי של העימות. לשם השוואה, די היה באפשרות ספיגת מהלומה גרעינית, ולו מוגבלת ביותר, כדי להטיל צל כבד על מוכנות כל נשיא אמריקאי לפלוש לעיראק במטרה להחליף את משטר סדאם.

כישלון כפול זה בהקשר מדינות המערב מהווה סיבה נוספת למאמץ העולמי להכחדתו של נשק זה על ידי יישום אוניברסלי של האמנה לאיסור על נשק כימי. "נשק האטום של העניים" הפך לנשק מפלה מאחר שהאפקטיביות שלו נותרה בעינה ביחס לעולם השלי־שי העני ממילא – בעיקר כמכשיר של הטלת אימה נגד אוכלוסייה חסרת הגנה.

ההתייחסות המיוחדת של ארצות הברית לשימוש בנשק כימי כחציית קו אדום בסוריה היא ביטוי נוסף ובולט לעיוות התפישה בהקשר לנשק זה. בהיבט המוסרי, נראה שהדגשת מותם של פחות מ־200 בני אדם כתוצאה משימוש בנשק כימי – 0.1 אחוז מכלל ההרוגים בעימות עד כה – צבועה בצבעי הטאבו ההיסטורי ופחות בשיקולים הומניטריים טהורים. ✕

1) Russell L. Moses, “The Chemical Weapons Convention and the Shadow of the Post-Cold War World,” in Shadows and Substance: The Chemical Weapons Convention, ed. Benoit Morel and Kyle B. Olson (Boulder: Westview, 1993), 251-62, 261 n. 2.

2) סירל פולס, מלחמת העולם הראשונה (תל אביב: מערכות, 1981), 116.

3) לציטוט ראה Dorothy K. Clark, Effectiveness of Chemical Weapons in WWI,(US Operational Research Office, 1959), p.134.

4) לנוסח סעיף 171 להסכם ורסאי (Versailles, Germany) ראה Fred L. Israel (ed.) Major Treaties of Modern History, 1648-1967 (1967),Vol. 2 , 1267, 1367. ראה גם נוסח סעיף 135 להסכם ס'ן ז'רמן (St. Germain, Austria) Id, 1582 ; סעיף 82 להסכם ניי (Neuilly, Bulgaria) Id, at 1754; סעיף 119 להסכם טריאנון (Trianon, Hungary) Id, at 1906 1920: סעיף 176 להסכם סבר (Sèvres, Turkey) Id, at 2113. ההסכם האחרון הוחלף ב־1923 בהסכם לוזן (The Treaty of Lausanne) אשר לא כלל סעיף דומה .

5) כלשון הפרוטוקול: "השימוש במלחמה בגזים מחניקים, מרעילים, או בגזים דומים, וכן בכל נוזלים, חומרים, או תהליכים דומים, גונה, בצדק, על ידי הדעה הכללית של העולם התרבותי". פרוטוקול בדבר איסור השימוש במלחמה בגזים מחניקים, מרעילים, או בגזים דומים, ובאמצעים בקטריולוגיים, כ"א 21, 659

6) ראה, למשל, Fredrich Brown, Chemical Warfare: A Study in Restraints (Princeton: Princeton UPS, 1968); SIPRI, The Problem of Chemical and Biological Warfare, Vol. 1, (Stockhom: Almqvist & Wiksell, 1971, chap 5.

7) Adolf Hitler, Mein Kampf, [complete and unabridged], (Boston : Houghton Mifflin Co.) 1943, p.264

8) Cited in: Matthew Meselson, “Chemical Weapons and Anti-Chemical Protection”, Paper Presented at Conference “Toward a Global Chemical Weapons Convention”, Ma’in, Jordan, 7.5.1990--9.5.1990, p.6.

9) יגאל שפי, 'הנשק הכימי בארץ־ישראל במלחמת העולם הראשונה', קתדרה, מס' 105, תשרי תשס"ג, 41־84, ע' 58 .

10) מצוטט אצל Robert Harris & Jeremy Paxman (London: A Higher Form Of Killing Chatto&Windus, 1982, 46) לאור ההתנגדות בסנאט ביכר יו"ר הוועדה ליחסי חוץ, וויליאם בורה (William Borah) להחזירו לוועדה בדצמבר 1926. הפרוטוקול "נקבר" למעשה בוועדה עד שב־1947 נמשך בידי טרומן מן הסנאט.

הירוגליפים

הקומיקס האולטימטיבי. אי אפשר להיות יותר קומיקס מההירוגליפים, שם הטקסט הוא הוויז'ואל והוויז'ואל הוא הטקסט. חלק מהצורות בכתב ההירוגליפי הן "אידיאוגרמות", כלומר, הסימן מייצג אחד לאחד את מה שמצויר (ענף זה ענף) וחלק מהצורות הן "פונוגרמות", כלומר סימן המייצג עיצור, או צירוף של עיצורים. חלק מהסימנים מורכבים מאוד מהבחינה הציורית (מלכים, אלים) וחלק פשוטים מאוד. דווקא בגלל ההבדלים ברמת מורכבות הצורות, ההאחדה הסגנונית כל כך מרשימה. קצת כמו אצל חואן מירו, המשלב צורות גיאומטריות פשוטות עם דמויות אדם מוזרות, זו ליד זו ללא היררכיה. אני אוהבת מאוד את ה"הירתמות" של הצורה לצורכי בהירות סיפורית. אפילו את גוף האדם החרטומים פירקו כך שיהיה נוח "לקרוא" אותו (כפות רגליים וראש בפרופיל, כתפיים ואגן מהחזית). את הגלגול המודרני של הסמלים העתיקים אפשר למצוא היום בלוגואים של חברות מסחריות, לרוב בצורה הרבה פחות חכמה.

המשך בעמ' 79 ◄

דמוקרטיה בסינית

התקווה לסין דמוקרטית על פי אמות מידה מערביות, מופרכת ונשענת על חוסר הבנה תרבותית. סינים רבים שאינם מכירים את הדמוקרטיה המערבית מאמינים ש"שלטון העם" – הפירוש הסיני המילולי של "דמוקרטיה" – מתקיים אצלם ואין ציפייה שיהיה מלווה בחילופי שלטון, בזכויות פרט או בחופש דיבור. לפחות לא לפני שתובטח להם רמת חיים

★ פרופ' יצחק שיחור

סינים מדוושים בבייג'ינג. כמיליון וחצי סטודנטים לומדים היום באוניברסיטאות בחו"ל | צילום: ג'ון ויימן, Gettyimages

בנובמבר 2012 התכנס הקונגרס ה־18 של המפלגה הקומוניסטית הסינית ו"בחר" הנהגה חדשה שאמורה להוביל את סין בעשור הבא. זו תהיה תקופה קריטית בתולדות סין בת זמננו. בשלושת העשורים הקודמים עשתה סין קפיצה גדולה קדימה, ממדינה ענקית אבל נחשלת למדי ושולית במערכת הבינלאומית לתופעה מרכזית, בפרט בכלכלה העולמית. שורשיה של צמיחה זו במדיניות הרפורמות שהפכה את הקערה המאואיסטית על פיה, אבל גם בשילוב של גורמים אשר חלקם קשורים בסין עצמה (נקודת פתיחה נמוכה מאוד שממנה אפשר רק להתקדם, ובמהירות) וחלקם קשורים במערכת הבינלאומית (שעברה טלטלה פוליטית מרחיקת לכת, בפרט התמוטטות ברית המועצות, שגם ערערה את הלגיטימציה של ארצות הברית כמעצמת־על מובילה) וגם שורה של משברים כלכליים אשר האטו את צמיחת המערב ויפן ועקב כך הבליטו עוד יותר את עלייתה הדרמטית של סין.

בעשור הבא תיאלץ סין להתמודד עם בעיות כלכליות שחלקן הן תוצר של התפתחויות חיצוניות (כמו הצטמקות הביקושים הבינלאומיים לסחורותיה) ובעיקר עם בעיות פנימיות, פוליטיות וחברתיות, הנובעות מחלוקה בלתי שווה של השפע שנוצר, מהזנחת הסביבה ומפערים אנכיים (בין שכבות) ואופקיים (בין אזורים). כל אלה עוררו ציפיות שההנהגה החדשה בראשות סי ג'ין־פינג תיזום גם רפורמות פוליטיות, אולי בעלות סממנים "דמוקרטיים".

נכון לרגע זה שוררת בקרב המומחים אכזבה: ההנהגה החדשה מצטיירת כשמרנית וכחסרת ביטחון עצמי. גם אם יש בהנהגה דמויות בעלות פוטנציאל של חדשנות פוליטית, הן שבויות (לפחות לשנה–שנתיים הקרובות) בידי "זקני המפלגה" השמרנים. בנסיבות אלה הסיכויים לרפורמות פוליטיות משמעותיות – קל וחומר לדמוקרטיזציה– נראים קלושים עד אפסיים, למרות שהמדיניות הבסיסית של כלכלה חופשית, של חשיפה רבה כלפי חוץ ושל אמצעים קפיטליסטיים תימשך ככל הנראה. בנושא זה אין חילוקי דעות. איך ניתן ליישב סתירה זו בין ליברליזם כלכלי לבין אוטוריטריות פוליטית? האם הציפיות לדמוקרטיה בסין, בראש ובראשונה מחוצה לה, משקפות את המציאות?

אחת הבעיות היסודיות בדיון על סיכויי הדמוקרטיה בסין הוא השימוש הנפוץ במונחים ובמושגים שמקורם מערבי, תוך התעלמות מההקשר האסיאתי השונה ולעתים אף מנוגד. תופעה זו אינה רק נחלתם של מי שידיעתם שטחית, אלא אף של "מומחים", אנשי אקדמיה ותקשורת, ואפילו של מי שמשתייכים לאותה חברה ואמורים להכיר אותה היטב. היחס לפרשת טיֶיאן־אן־מֶן מ־1989 הוא דוגמה מובהקת לחוסר ההבנה, הן מצד המפגינים והן מצד האקדמיה והתקשורת. הציפייה, ואפילו ההשתוקקות, לדמוקרטיה בסין משקפת את המתח, ולעתים את הניגוד, שבין "הדברים" לבין "הקשרם". לכאורה יש בסין מאפיינים של התקדמות לקראת דמוקרטיה, אבל האם מדובר בתהליך אמיתי או רק במראית עין?

התדמית הדמוקרטית

אם סין איננה דמוקרטיה, האם היא לפחות דמוקרטיה בדרך? קרוב לוודאי שרבים יענו על שאלה זו בחיוב. בשלושים השנה האחרונות סין פתוחה כלפי חוץ כפי שלא הייתה מעולם. היא חשופה יותר מאשר אי פעם לתקשורת מערבית, לתרבות, לסרטים לתוכניות טלוויזיה, לידע ולספרות. יותר סינים מאשר אי פעם יוצאים ממנה לבקר בכל חלקי העולם, ובכלל זה בעולם המערבי. בסוף 2011 למדו כ־1.4 מיליון סטודנטים סינים באוניברסיטאות מחוץ לסין ונחשפו שם לרעיונות דמוקרטיים וליברליים, וכ־186 אלף מהם חזרו לסין. קל יותר להגיע לסין כיום מאשר אי פעם בעבר, והתיירות בה גואה.

ב־2011 נכנסו לסין למעלה מ־135 מיליון איש, ולמעלה מ־70

מיליון סינים יצאו ממנה – כחמישה אחוזים מהאוכלוסייה. בסוף אותה שנה למדו בסין כ־290 אלף סטודנטים זרים. הטענה שרוב שנותיה הייתה סין מבודדת ומנותקת מהעולם אינה תקפה היום, או בשלושים השנה האחרונות. למפגש זה עם המערב יש השלכות שאינן רק כלכליות או תרבותיות, אלא בהכרח גם פוליטיות.

בסין שוררת כיום, לפחות כלפי חוץ, מידה של סובלנות חסרת תקדים. הן חוגים אינטלקטואליים והן הציבור מותחים ביקורת על היבטים שונים של המשטר בסגנון ובהיקף שלא היו כדוגמתם באמצעות מכתבים למערכת, עצומות ורשתות האינטרנט. פתחון פה ניתן גם למיעוטים אתניים ודתיים, אמנים מצביעים ביצירתם על נקודות התורפה של המערכת והפגנות נערכות במקומות רבים וכרוכות לעתים גם בהתנגשויות ובעימותים עם גורמי אכיפת החוק (בשנת 2011 דווחו כ־1,300 מקרים של הפרת הסדר הציבורי בכל יום). שביתות עובדים – שהיו תופעה נדירה, כמעט בלתי קיימת, בתקופת מאו – נהפכו לחזון נפרץ בסין של ימינו. המנהיגים, בניגוד לדימוי, קשובים לקולות אלה וערים להשלכות הפוליטיות הפוטנציאליות, בפרט על רקע מה שנקרא "האביב הערבי".

מובן שהתופעה הבולטת בדיון על סיכויי הדמוקרטיה בסין היא מדיניות השוק החופשי. בניגוד למה שמקובל לחשוב, מדיניות הכלכלה החופשית איננה סותרת את האידיאולוגיה המרקסיסטית, אלא מעוגנת בה. הסוציאליזם נשען על הקפיטליזם ונובע ממנו. בעוד מאו סבר שסין ניצבת על סף הגשמת הקומוניזם, יורשיו הפנימו שסין נמצאת רק בשלבים ראשונים של הסוציאליזם; זהו שלב מעבר של כלכלה מעורבת, חלקה סוציאליסטית וחלקה קפיטליסטית, אשר שואב מן ההנחה שסוציאליזם נכשל ככלי לפיתוח כלכלי (בברית המועצות ובארצות מזרח אירופה, וגם בסין). לכן, למרות שמתקבל הרושם שסין מתרחקת מהסוציאליזם, למעשה היא חוזרת למקורותיו.

שלושים השנה האחרונות משקפות למעשה "חזרה בתשובה". מתברר כי – בניגוד לעמדת מאו ואפילו לזו של מרקס בסוף ימיו – אין אפשרות לדלג ישירות מהשלב "הפיאודלי" לשלב "הסוציאליסטי" תוך כדי פסיחה על השלב הקפיטליסטי. לא ניתן לכונן חברה סוציאליסטית, כזאת שתחלק את השפע הכלכלי בצורה שוויונית, ללא השלב הקפיטליסטי הבורגני – כי רק הוא מסוגל ליצור את השפע.

סין ממילא נמצאת תחת שליטת המפלגה הקומוניסטית, ויורשי מאו משתמשים בסוציאליזם ככלי לפיקוח כלכלי ומנסים כעת לשקם או לשחזר את השלב הקפיטליסטי אשר נועד להביא בסופו של דבר (בטווח של חמישים שנה או יותר, זה לוח הזמנים המוסכם) להתבססות סוציאליזם אמיתי – או כך הם מאמינים (לפחות כלפי חוץ). מתוקף הנסיבות אין זה קפיטליזם פרטי, כפי שהתפתח במערב, אלא "קפיטליזם ממלכתי", מודרך ומבוקר. הרעיון אינו חדש, בוודאי לא בסין. הוא הועלה על ידי סון יאט־סן, אבי הלאומיות הסינית, עוד בתחילת המאה ה־20, כאשר הציע כבר אז לשלב בין סוציאליזם לקפיטליזם ובין דמוקרטיה לאוטוריטריות. בניגוד למחשבה המערבית, אשר מייצגת דיכוטומיות אבסולוטיות (או לבן או שחור, או קפיטליזם או סוציאליזם) – מחשבתה של סין המסורתית מייצגת רלטיביזם וגמישות רעיונית (וגם דתית) ושילובים המיועדים להשיג איזון נכון. המצב האידיאלי אינו של טוב מוחלט (שהפרגמטיזם הסיני אינו מכיר בקיומו, אבל המערב כן), אלא של איזון נכון בין טוב לרע. גם כיום מנסה בייג'ינג ליצור איזון נכון בין קפיטליזם לסוציאליזם.

במקביל להמשך שליטתה במגזרים שונים של הכלכלה (מפעלים בבעלות המדינה כגון תעשיות ביטחוניות, משק האנרגיה, מפעלי פלדה וכד') סין מיישמת גם שוק חופשי – נסיגה חדה מהמודל הסובייטי הכושל של משק ריכוזי או פיקודי. גישה זו פתחה את שעריה של כלכלת סין לתשומות חיצוניות, בהן השקעות הון, ציוד מתקדם וידע טכנולוגי. חלק ניכר מאמצעי הייצור הופרט וניתן עידוד לתחרות. התוצאה הייתה גידול דרמטי של היצוא.

דמוקרטיה של שורשי העשב

במשך שלושה עשורים צמח התוצר של סין בממוצע של קרוב לעשרה אחוזים, תופעה חסרת תקדים בהיסטוריה האנושית. צמיחה זו הביאה להיווצרותו של מעמד ביניים – הנאמד כיום בכ־475 מיליון איש – בהם אינטלקטואלים, סטודנטים, אנשי עסקים, מנהלים, מהנדסים, רופאים, סוחרים, קבלנים ועוד – שהכנסתו ורמת חייו עלו משמעותית. ישנה ציפייה שמעמד זה הוא שידרוש לא רק רפורמות פוליטיות, אלא שינוי המשטר וקידום הדמוקרטיה בסין – כפי שמקובל לחשוב לאור המודל המערב־אירופי.

לרגע היה נדמה, למי שאינו מכיר את סין, שציפייה זו עומדת להתממש. אחד הביטויים הידועים ביותר של "השאיפה הסינית לדמוקרטיה" היה בכיכר שער השלום השמיימי (טְיֶאן־אן־מְן) ב־1989,

מתברר כי בניגוד לעמדת מאו ואפילו זו של מרקס בסוף ימיו, אין אפשרות לדלג ישירות מהשלב "הפיאודלי" לשלב "הסוציאליסטי" תוך כדי פסיחה על השלב הקפיטליסטי

★

כרזה מימי מהפכת התרבות. באופן פרדוקסלי, דווקא תקופת מאו היתה יותר הטרוגנית מבחינה פוליטית

כאשר הסטודנטים המפגינים הקימו את פסל אלת הדמוקרטיה ממש מול עיניו הצופות של מאו דזה־דונג בתמונה הענקית שתלויה שם. המסר היה ברור, הייתה תחושה שסין עומדת על סף מהפך דמוקרטי, והיא לובתה על ידי אמצעי התקשורת וחלק מהאקדמיה בעולם ובפרט בארצות הברית. תחושה זו, שלא היה לה כל יסוד, ולא רק בראייה רטרוספקטיבית, הצליחה להחריד את ההנהגה הסינית. זו הפעילה את הצבא ודיכאה את ההפגנות תוך כדי שפיכות דמים. אם היה שמץ ניסיון לממש דמוקרטיה על ידי מעמדות הביניים, הוא לא רק נכשל כישלון חרוץ, אלא גם הרחיק למועד בלתי ידוע את הסיכוי לממשו בעתיד.

במקום זאת, ובמקביל, צמחה תופעה מעניינת של "דמוקרטיה של שורשי העשב". זה כמה שנים מקיימים כפרים רבים בחירות להנהגה המקומית תוך כדי תחרות "חופשית" בין מספר מועמדים, לא כולם נציגיה של המפלגה הקומוניסטית. תביעות לדמוקרטיה גם מופיעות מעת לעת בבלוגים ובתגובות באינטרנט, שם אפשר היה עד לאחרונה לשמור על אנונימיות. השימוש באינטרנט הוא אחד החידושים הבולטים בסין, ולצד תפקידיו הכלכליים הוא גם נותן ביטוי לדעות ביקורתיות יותר וחשיפה של סין כלפי חוץ. יש לשינוי זה משמעות כמותית אדירה: מספר המשתמשים באינטרנט בסין בסוף 2012 הגיע ל–564 מיליון, יותר מאשר בכל מדינה אחרת בעולם.

סקרי דעת קהל שנערכו בסין בשנים האחרונות מצביעים על נטייה לכיוון דמוקרטי. ערב הקונגרס ה־18 של המפלגה הקומוניסטית הסינית (נובמבר 2012) ערך עיתון המפלגה, "יומון העם", סקר מקוון שבו התבקשו הנשאלים לבחור את הנושא החשוב להם ביותר מבין כמה. מ־187 אלף תשובות, המובילה ללא עוררין הייתה "פוליטיקה דמוקרטית" (61,317). אחריה באו "התנגדות לשחיתות" (38,701), "סוציאל־דמוקרטיה" (33,695), "פיתוח כלכלי" (13,061), בהמשך "הגנה לאומית", "שגשוג תרבותי", "שלום ואחדות", ורק לבסוף "בניין המפלגה (הקומוניסטית)" ו"יחסי חוץ". אילו היה זה מדגם מייצג, משמעותו הייתה שקרוב לשליש מתושביה הבוגרים של סין תומכים במשטר דמוקרטי. אלא שכלל לא היה זה מדגם, ובוודאי לא מייצג. אך למרות הבעייתיות של סקר זה ודומיו, עדיין יש בו אינדיקציה מסוימת, על אחת כמה וכמה שנעשה בחסות כלי תקשורת רשמי־ממלכתי וללא כל ספק באישור מפלגתי. מאות דעות דומות הובעו גם בבלוגים ברשת האינטרנט.

הדיון הגובר בדמוקרטיה בסין קשור לא רק להתבטאויות פנימיות, אלא גם לתופעות חיצוניות, הן ישירות והן עקיפות. הלחצים החיצוניים החלו, בעיקר מצד ארצות הברית וכמה ממדינות מערב

אירופה, בעקבות הטבח בטייָאן־אן־מֶן. לפני כן האמינו חוגי ממשל בארצות הברית ובאירופה, בתמימות רבה, שהבחירה במנגנוני שוק חופשי באמת תוביל את סין לדמוקרטיה. הטבח – סטירת לחי שסיימה באחת את "ירח הדבש" הסינו־אמריקאי משנות השמונים, גרר התפכחות מאשליית התקדמות הדמוקרטיזציה של סין. התפכחות זו ניזונה גם מהתמוטטות ברית המועצות שהפכה את סין משותפה סמויה של וושינגטון ליריבה. כעת השתלב הלחץ על סין ב"מסע צלב" וירטואלי שניהלה ארצות הברית לקידום זכויות האדם ותהליכי דמוקרטיזציה באזורים שונים בעולם, מסע שזכה לביקורת סינית (ואסיאתית) חריפה.

בנוסף לכך מושפעת דעת הקהל הסינית (ואולי גם ההנהגה) מעלייתם של משטרים דמוקרטיים בסביבתה של סין בחברות שניתן לכנות אותן "פוסט־קונפוציאניות", כלומר אלה שחולקות עם סין מאפיינים תרבותיים, רעיוניים ואפילו פוליטיים. העובדה שטייוואן, הנחשבת משני צדי המצרים כחלק מסין, קוריאה הדרומית, וכן יפן וסינגפור (שתידון בהמשך) מימשו תהליכי דמוקרטיזציה וחוו תוך כדי כך צמיחה כלכלית ויציבות מדינית, לא נעלמה מעיניהם של מנהיגי סין.

אף משטר דמוקרטי בסביבתה של סין לא הוקם "מלמטה". משטרים אלה קמו "מלמעלה", בהחלטה של השלטון (כמו במקרה של טייוואן); "מהאמצע" (כמו במקרה של קוריאה) או "מבחוץ" (כמו במקרה של יפן). אם בעבר לא היה בסביבתה של סין מודל של דמוקרטיה, כעת יש כמה מודלים. נשוב לנושא זה בסיום המאמר. האם כל התהליכים הללו מובילים את סין לכיוון דמוקרטי? לאו דווקא.

המציאות האוטוריטרית

עד התקופה המודרנית הייתה סין מנותקת במידה רבה מן המגמות הדתיות והרעיוניות של אגן הים התיכון ואירופה, ובכלל זה רעיונות דמוקרטיים, בין אם עתיקים (כמו ביוון) או מודרניים (כמו בצרפת). מדינות אוטוריטריות אחרות קלטו את הרעיון הדמוקרטי בגלל הקרבה הגיאוגרפית, וגם התרבותית והדתית, לאירופה (רוסיה, למשל, שהאצולה שלה ידעה צרפתית), או מפני שאירופה באה אליהן (הודו, למשל, תחת השליטה הבריטית). בסביבתה של סין לא הייתה שום דמוקרטיה שיכלה לשמש לה דוגמה, והיא גם מעולם לא הייתה נתונה לשלטון קולוניאלי אירופי בשלמותה ולכן גם לא נחשפה למסורת הדמוקרטית.

הקיסרות הסינית הייתה ריכוזית וביורוקרטית, ללא חלוקה לממלכות וללא שכבה אריסטוקרטית שמעמדה עבר בירושה ואשר עוצמתה הייתה בלתי תלויה בשלטון, זאת בניגוד למדינות אירופה, ורוסיה בכלל זה. לא היה בה ממסד דתי עצמאי או כנסייה אוטונומית כפי שהיו באירופה וברוסיה. בנוסף לכך, ערב התקופה המודרנית הייתה האוכלוסייה הסינית הומוגנית מאוד. גם היום שיעור המיעוטים באוכלוסיית סין הוא כשמונה אחוזים בלבד – ללא כל השוואה לשיעורם בברית המועצות לפני התפרקותה שמנה כמחצית מאוכלוסייה. בסין המסורתית גם לא היה מעמד מסחרי אוטונומי כפי שהיה באירופה.

אף על פי שהכלכלה הייתה חופשית בעיקרה (פרט לכמה מונופולים של החצר), ואף על פי שהחברה הייתה מבוססת על מעמדות "פתוחים" ועל מוביליות חברתית – בסופו של דבר השאיפה הבסיסית בחברה הייתה בעלות על קרקע, אשר הקנתה לא רק יתרונות כלכליים, אלא גם מעמד חברתי ופוליטי.

מעמד זה הושג על ידי הצלחה בבחינות ממלכתיות שנוהלו על ידי הקיסרות, וזו תורגמה למשרה מנהלית בכפיפות להיררכיה הביורוקרטית. מערכת החינוך בסין המסורתית עודדה קונפורמיזם ושינון של הכתבים הקלאסיים הקדומים ושללה חדשנות או יצירתיות. הזהות הקולקטיבית הייתה בדרך כלל מקומית או אזורית לכל היותר, ומושג "הקיסרות הסינית", או "הקיסר הסיני", היה בלתי נתפס בקרב העם – קל וחומר האופציה של שינוי פוליטי. מרידות – הכלי העיקרי לשינוי פוליטי בסין הטרום־מודרנית – החלו בדרך כלל על רקע פרטיקולרי (כמחאה נגד המושל, השופט או גובה המסים), ולאו דווקא מתוך כוונה לשנות את השיטה או להחליף את הקיסר. במילים אחרות, בסין הטרום־מודרנית לא היו שכבות אוטונומיות

הקונגרס ה־18 של המפלגה הקומוניסטית הסינית. נוב' 2012. הנהגה שמרנית וחרדת ביטחון | צילום: יח"צ המפלגה הקומוניסטית הסינית

שיכלו להגביל את עוצמת השלטון. עוצמה זו גם נשענה על רצף היסטורי חסר תקדים בתולדות האנושות שנמשך משנת 221 לפני הספירה עד שנת 1911, בכמה הפסקות שהצטמצמו והלכו.

סין המסורתית לא הציעה כל תמריץ לפיתוח כלכלי–תעשייתי או לקפיטליזם, למרות שהתנאים הבסיסיים (משאבים חומריים ואנושיים, חדשנות טכנולוגית) היו קיימים. גם לא היה דחף לפתוח סחר חוץ או צי (פרט לתקופה קצרה בראשית המאה ה־15) משום שסין הייתה אוטרקיה כלכלית (פרט לסחורות יוקרה). במידה שהייתה צמיחה כלכלית (וסין הייתה המעצמה הכלכלית הגדולה בעולם עד השליש הראשון של המאה ה־19), היא נבלעה על ידי גידול האוכלוסייה (ב־1700 היו בסין למעלה מ־200 מיליון בני אדם, ב־1800 כבר היו כ־300 מיליון, וחמישים שנה אחר כך, ב־1850, הגיע מספרם ל־430 מיליון). לא נותרו עודפים להשקעה בתעשייה, כפי שקרה באירופה. סין הייתה מדינה ריכוזית ללא שכבות אוטונומיות או מוקדי עוצמה מחוץ לשלטון.

למרות האקרובטיקה שעשו אינטלקטואלים קומוניסטים סינים במאמץ להתאים את תולדות סין למסגרת השלבים ההיסטוריים שהציג קרל מרקס, בסין לא התקיים השלב של חברה פיאודלית בסגנון האירופי (או אפילו היפני) ואף – מה שיותר חשוב לענייננו – לא התקיים בה השלב של חברה בורגנית. המודל האירופי היה שונה והוא כלל אינו משקף את מה שהתחולל בסין. ההבנה המקובלת היא שבמהלך המאות ה־18 וה־19 התפתח באירופה מעמד עירוני שעסק בשירותים (בנקאות וכד'), בתעשייה ובמסחר, עיסוקים שבהם לא התעניינו הגורמים הדומיננטיים דאז – האריסטוקרטיה, המונרכיה והכנסייה. לתוך החלל הזה חדרה בהדרגה הבורגנות העירונית כקבוצה בלתי תלויה והחלה לצבור רכוש, מעמד וכוח. אלה הובילו, על פי הדעה המקובלת, לתביעות של השתתפות פוליטית, מיסוד זכויות וייצוגיות בשלטון. שום דבר מהמודל הוולונטרי הזה אינו קיים בסין. בהעדר מונרכיה, אריסטוקרטיה וכנסייה ממוסדת, מי שיצרה את התנאים לצמיחה כלכלית היא המפלגה הקומוניסטית כגורם השלטוני היחיד. לא היה כל חלל בסין, ואותן קבוצות עירוניות (וכפריות) שנרתמו (תרתי משמע) למאמץ הפיתוח הכלכלי בשום אופן לא היו קבוצות אוטונומיות ועיסוקן בשום אופן לא היה וולונטרי. כולן היו תלויות בשלטון, וזו גם אחת הסיבות לכך שהתפתחות הכלכלה לא גררה תביעות להשתתפות פוליטית ולדמוקרטיה. המודל האירופי כלל אינו רלוונטי לסין, והציפייה שבסין תתממש דמוקרטיה על פי מודל זה איננה ריאלית.

זכויות אדם. הפירוש הסיני

גם המושג "זכויות אדם" בעייתי מאוד בהקשר הסיני והמזרח אסיאתי בכלל. ביוני 1989, ימים ספורים אחרי הטבח בטייָאן־אן־מֶן, השתתפתי בכנס אקדמי בטוקיו. מטבע הדברים, האירועים בבייג'ינג היו במוקד השיח, והיפנים נשאלו לפשר תגובתם הפושרת (בהשוואה לזו של ארצות הברית ומערב אירופה). לכך ניתנו מספר תשובות, כולל הזיקה ההיסטורית, הדמיון התרבותי, הקרבה הגיאוגרפית, ההשקעות הכלכליות, האשמה היפנית במלחמה נגד סין, וכן – שהמושג "זכויות אדם" זר למסורת המזרח אסיאתית. אכן, המילה "זכויות" כלל לא קיימת בשפה הסינית הטרום־מודרנית. התרבות הסינית התבססה על חובות הדדיות ולא על זכויות. הנתין היה חייב בציות לשליט, והשליט היה חייב (לפחות בתיאוריה) לדאוג לרווחתו של הנתין. במילים אחרות, זכותו של הנתין הייתה בעצם

מכיוון שהמפלגה הקומוניסטית "מייצגת" את העם; שסין היא "הרפובליקה של העם"; שהמוסד הממלכתי העליון הוא "הקונגרס הלאומי של העם"; שהביטחון הוא בידי "צבא השחרור של העם" וכו', הרי שסין היא ממילא "דמוקרטית"

חובה של השליט. שלא כמו בתרבות המערב, שם זכות היא אימננטית, פנימית, טבועה באדם מלידתו – בסין הזכות היא חיצונית, מוענקת, מותנית. המושג "זכויות" חדר לשפה הסינית רק ברבע האחרון של המאה ה־19 באמצעות יפן, והוא תוצר של השפעה מערבית.

גם כיום קיים ויכוח בין אינטלקטואלים במזרח ובמערב על מהותן של ה"זכויות". בעוד הטיעון המערבי הוא שזכויות האדם אוניברסליות ושייכות לכל אדם באשר הוא אדם ללא הבדל גזע, מין, דת או מקום, טוענים אינטלקטואלים אסיאתיים, בפרט בסינגפור, כי זכויות האדם פרטיקולריות, יחסיות ומותנות תרבות, ואין מקום להחיל את זכויות האדם שהן תוצר של תרבות המערב על בני אדם שהם תוצר של תרבויות אחרות. כתחליף הם מציעים את המושג "ערכים אסיאתיים". הם, והסינים בפרט, טוענים כי זכותו הבסיסית והראשונית של האדם היא לחיות בכבוד ולהתפרנס ברווחה. במילים אחרות, יש עדיפות לפיתוח כלכלי ולהעלאת רמת החיים, ורק אז לדאגה לזכויות האדם במובן המערבי.

מטבע הדברים, גם ההתייחסויות הרבות לצמיחתם של "מעמד ביניים" ושל "חברה אזרחית" בסין משוללות כל יסוד ברוב המקרים. ברור שכתוצאה מהפיתוח הכלכלי, מהעלאת רמת החיים ומתהליך ההתעשרות צמח בסין "מעמד ביניים", אלא שזהו מעמד ביניים במובן הכלכלי והנומינלי, ובשום אופן לא במובן הפוליטי או ההגליאני. בחשיבה המערבית תפקידו של מעמד ביניים הוא לתווך בין המדינה לחברה, לייצג את האינטרסים של החברה כלפי המדינה ולהגביל את השלטון. נכון להיום המעמד הבינוני בסין ככלל אינו מעוניין בתפקידים אלה. הוא מעוניין להמשיך ולהעלות את רמת חייו ולחיות את חייו בשקט ובשלווה – וזה מה שהמפלגה (שיצרה עבורו את התנאים לכך, ובשום אופן לא באופן וולונטרי כמו באירופה) מספקת לו. בדיוק באותה מידה גם הדיבורים על צמיחתה של "חברה אזרחית" בסין הוצאו מהקשרם.

מחקרים רבים מצביעים על כינונם של ארגונים לא־ממשלתיים (NGO) בסין בנושאים של נשים, זכויות האדם, אקולוגיה, וכד'. בסין פעילים כיום כחצי מיליון ארגונים כאלה, רבים מהם שלוחות של ארגונים בינלאומיים, ואולי כעשירית מהם ארגונים לא־ממשלתיים על פי ההגדרה המערבית. חלק מארגונים אלה הם בעצם גופים מטעם הממשל (GONGO, Government-Organized Non-Governmental Organizations).

מבלי לזלזל בתרומתם, אם אכן יש "חברה אזרחית" בסין היא עוסקת בנושאים שוליים יחסית (ובדרך כלל בתמיכתה של המדינה) ונמנעת בתוקף הנסיבות מהתמודדות עם בעיות פוליטיות מרכזיות ומהגבלת השרירות של המדינה.

על הבעייתיות של הרעיון הדמוקרטי בסין ניתן ללמוד גם מהמונח. בשפה הסינית "דמוקרטיה" היא "מינג'ו ג'ואי" – תרגום מילולי מדויק של המונח המקובל: העיקרון של שלטון העם. הרוב המכריע של הסינים, שאינו יודע אנגלית או שפות זרות, מכיר רק את המונח הזה, שאינו מעורר אצלו שום אסוציאציה ל"דמוקרטיה" במובן המערבי. לדידו מדובר ב"שלטון העם", פשוטו כמשמעו. וכיוון שהמפלגה הקומוניסטית הסינית "מייצגת" את העם; שסין היא "הרפובליקה של העם"; שהמוסד הממלכתי העליון הוא "הקונגרס הלאומי של העם"; שהביטחון הוא בידי "צבא השחרור של העם" וכד', הרי שסין היא ממילא דמוקרטיה. גם אינטלקטואלים שיודעים שפות זרות וערים למונח "דמוקרטיה" (אשר מופיע פחות או יותר בצורה זו ברוב השפות בעולם, כולל בעברית, בערבית ובכל השפות האירופיות) אינם ערים למכלול המשמעויות שכרוך במושג זה: חופש דיבור, חופש דת, פלורליזם מפלגתי, בחירות חופשיות, אופוזיציה לגיטימית, הפרדת רשויות, עליונות החוק, חילופי שלטון, וכד'. זו הסיבה שגם אלה ש"תומכים" בדמוקרטיה לא תמיד מבינים את משמעותה (כגון, ובראש ובראשונה, האפשרות של סילוק המפלגה הקומוניסטית הסינית מן השלטון).

חוסר הבנה זה התברר באופן טראגי בטייאן־אן־מן ביוני 1989 כאשר השלטון דיכא באלימות את ההפגנות. בדיעבד ברור, גם על פי עדויות הסטודנטים ששרדו את הקטל, שהם כלל לא הבינו כי משמעות הדמוקרטיה היא האפשרות של נפילת הקומוניזם בסין, שכלל לא הייתה על סדר היום של המפגינים. לקח זה נלמד היטב, ומאז ועד היום לא נעשה ניסיון נוסף לקדם דמוקרטיה בסין, בוודאי לא בקנה מידה כזה. בשיחות שקיימתי עם סטודנטים ואינטלקטואלים בסין – ואפילו עם גולים – התברר כי רובם ראו את הדמוקרטיה המערבית כתוהו ובוהו (בסינית: לואן) וכמתכון לאי סדר ולחוסר יציבות. התופעה של דמוקרטיה בכפרים מעניינת אך בלתי רלוונטית לחלוטין לסיכויי הדמוקרטיה בסין, בדיוק כמו שלבחירות לוועד הבית אין קשר למשטר דמוקרטי.

בשיחות שקיימתי עם סטודנטים ואינטלקטואלים בסין – ואפילו עם גולים – התברר כי רובם ראו את הדמוקרטיה המערבית כתוהו ובוהו (בסינית: לואן) וכמתכון לאי סדר ולחוסר יציבות

צילום: ג'ף ווידנר, איי־פי

כיכר טייאן־אן־מן, 5 ביוני, 1989. אשלייה של התקוממות

הטרוגניות בימי מאו

לכאורה, סקרי דעת קהל בסין מצביעים על שאיפה לדמוקרטיה. למעשה, משאלים אלה בעייתיים ביותר. הסקר של "יומון העם" שהוזכר לעיל היה רחוק מלהיות מדעי ובוודאי לא היווה מדגם מייצג. לא היה כל פיקוח על מספר המצביעים או על זהותם, כך שאותו אדם יכול היה להצביע כמה וכמה פעמים על אותה העדפה. ברור שלא אלה האנשים הקובעים בסין, ולמרות המספרים המרשימים עדיין מדובר במיעוט זעיר באוכלוסיה. סקר אחר, שנערך במרס 2012 על ידי העיתון (הרשמי גם הוא) "גלובל טיימס", מציג תמונה מורכבת יותר. על השאלה "האם אתה מאמין שסין צריכה להפוך לדמוקרטיה בסגנון מערבי באמצעות רפורמות" ענו 15.7% בחיוב. כמחצית הנשאלים (47.9%) אמרו שאינם מתנגדים, אבל סבורים ששינוי כזה אינו ריאליסטי. 19.1% התנגדו בטענה שהרעיון תמים מדי, 9.9% טענו שמדובר בתפיסה מערבית שנכפית על סין ו"אל לנו ליפול בפח הזה", ו־7.5% לא יכלו להחליט.

לכאורה, 63.6% רואים דמוקרטיה בסגנון מערבי בחיוב, אבל רק שישית מהמשיבים רואים אותה כמתאימה לסין או אפשרית. כ־37% שוללים. היקף המדגם – 1,010 בני 15 ומעלה משבע ערים בסין.

יש לציין כי רשת האינטרנט בסין אמנם התרחבה, אבל היא נתונה לפיקוח הדוק; חלק (אולי ניכר) מהמסרים באינטרנט מופצים על ידי גורמים המקורבים לשלטון כדי לשקף "פתיחות" ו"פלורליזם" בסין.

כך גם לגבי ביקורת מצד אינטלקטואלים ואקדמאים. אם כי ברור שלפחות חלק מביקורת זו כן ומקורי, יש תחושה שחלק הוא "מטעם" השלטון אשר הטיל "שליחות" כזו כדי להפגין מגוון של דעות בסין.

בנוסף לשליטתה הכמעט מוחלטת באינטרנט, במערכת התקשורת ובמעקב אחר דואר אלקטרוני, הידקה סין בדצמבר האחרון את הפיקוח על האינטרנט. חקיקה חדשה מאפשרת לה להשמיד חומרים "בלתי לגאליים" באופן שרירותי ומשתמשי האינטרנט נדרשים להירשם מראש בשמם האמיתי. אתרים רבים (בהם "יהודים", "ציונות" ו"ישראל") נחסמים מדי פעם ובמקומות שונים, וכל התכנים נתונים לצנזורה שוטפת.

בנוסף מפקחת סין על אזרחיה באמצעות מצלמות. סין החלה להתקין מצלמות טלוויזיה במעגל סגור בשנת 2005. כעבור שנתיים כבר היו 2.75 מיליון מצלמות בכל רחבי סין, וכיום מספרן נע בין 20 ל־30 מיליון. רק בשנת 2011 הותקנו 13 מיליון מצלמות. הן מוצבות לא רק ברחובות ובכיכרות, אלא גם במוסדות ובמתקנים ואפילו בכיתות בבתי הספר. כל זה לא היה קיים בתקופת מאו.

באופן שנשמע פרדוקסלי לחלוטין, תקופת מאו הייתה הטרוגנית ודינמית יותר מבחינה פוליטית מאשר התקופה שאחריו. עד מותו ב־1976 התנהלו ויכוחים אידיאולוגיים חריפים בין שתי גישות לפחות, ולמרות שעדיין היה מדובר במפלגה קומוניסטית אחת, אפשר להשוות את סין בתקופת מאו למשטר דו־מפלגתי. "המפלגה"

המהפכנית" (או הרדיקלית) בהנהגת מאו נאבקה ב"מפלגה הרפורמיסטית" (או הרוויזיוניסטית) בהנהגת ליו שַאוֹ־צִ'י, דנג סְיַאוֹ־פִּינג, צֶ'ן יוּן, בּוֹ אִי־בּוֹ ואחרים. למרות שלא נערכו בחירות כלליות בסין, נראה היה כאילו השלטון התחלף מדי כמה שנים: תקופת שיקום בשליטת "המפלגה הרפורמיסטית" בשנות החמישים המוקדמות; תקופה מהפכנית בשליטת "המפלגה הרדיקלית" בשנות החמישים המאוחרות; ואז תקופת שיקום נוספת בשליטה רפורמיסטית, ואחריה "מהפכת התרבות" בשליטת המהפכנים. הוויכוחים הפוליטיים היו יסודיים ועסקו באלטרנטיבות אידיאולוגיות ובמגמות שונות, לעתים סותרות.

לעומת זאת, התקופה שלאחר מאו מצטיינת בהומוגניות אידיאולוגית ומנהיגותית. סין אמנם עדיין נמצאת תחת שליטת מפלגה אחת, "המפלגה הרפורמיסטית", אבל אין שום דיון על אלטרנטיבות אידיאולוגיות ואין שום מנהיגות אופוזיציונית כפי שהייתה בזמנו של מאו. בשנים הראשונות של המאה ה־21 ניסה בּוֹ סי־לַאי (בנו של בּוֹ אִי־בּוֹ, מיריביו של מאו) להציב אלטרנטיבה אידיאולוגית שמטרתה הייתה חלוקה שווה יותר של השפע הכלכלי שהצטבר בסין – ממש ברוח הסוציאליזם המסורתי. התוצאה הייתה שהוא הושמץ כ"מאואיסט" וכ"פופוליסט", הואשם בשחיתות ואז הודח וסולק, וייתכן שיועמד לדין – למרות שרבים ממנהיגיה הבולטים של סין נגועים בשחיתות ובכל זאת שמרו על מעמדם. הגיבוי הקולקטיבי של ההנהגה לרפורמות מבית מדרשו של דנג סְיַאוֹ־פִּינג אין פירושו שחלפו המתחים בצמרת, אלא שמאז תחילת הרפורמות, ובפרט מתחילת שנות התשעים, המאבקים נושאים אופי אישי ולא אידיאולוגי, מאבקי כוח בלי רמז לדמוקרטיה.

לדמוקרטיה הגדרות רבות, אבל גרעין אחד: קיומה של מפלגת אופוזיציה לגיטימית אשר המשטר הקיים מאפשר לה להחליף את השלטון בצורה מסודרת וללא שפיכות דמים, בתמיכת הרוב. כך התפתחה הדמוקרטיה בטייוואן, וגם בקוריאה הדרומית. העובדה שגרעין של אופוזיציה שרד במיאנמר (בורמה) גם תחת השלטון הצבאי יוצרת בסיס לדמוקרטיה בעתיד. משטרים השוללים מפלגות אופוזיציה, או את האפשרות להציע אלטרנטיבה שלטונית (למשל ערב הסעודית) ספק אם יהיו דמוקרטיים. כך הדבר גם בסין. למרות שישנן "מפלגות", אלה הן "מפלגות מדף" מטעם השלטון, ואין סיכוי שבעולם שתוכלנה אי פעם להחליף את המפלגה הקומוניסטית כפי שהמפלגה הדמוקרטית־פרוגרסיבית (DPP) בטייוואן החליפה את המפלגה הלאומנית ("גואומינדאנג") שהחזיקה בשלטון עשרות שנים ברציפות. סין לא תהיה דמוקרטיה עד שלא תאפשר קיום אמיתי של מפלגות אופוזיציה עצמאיות ותחרות חופשית על השלטון.

מה שמחזק את המגמות האוטוריטריות של סין – ומחליש עוד יותר את הסיכויים לדמוקרטיה – היא הטכנולוגיה. למרות שסין נראית היום יותר פתוחה, חשופה וליברלית לכאורה, הרי למעשה סין טוטליטרית היום הרבה יותר מהרושם שהיא יוצרת. הפתיחות, הביקורת והליברליות – רובן מכוונות מלמעלה, מתאפשרות על ידי השלטון הן כדי להוציא קיטור והן כדי ליצור תדמית חיובית יותר כלפי חוץ. למעשה, יכולת הפיקוח של סין על החברה, ובפרט על גורמים ביקורתיים, גדולה יותר מאשר אי פעם בתולדותיה. טוטליטריות נוצרת מהצירוף של אוטוריטריות וטכנולוגיה אשר מאפשרת שליטה יעילה יותר על כל תחומי החברה. בייג'ינג יכולה להתיר לעצמה להרפות קצת לחצים על החברה כי לרשותה עומדים מנגנוני פיקוח ושליטה שלא עמדו לרשותה בעבר.

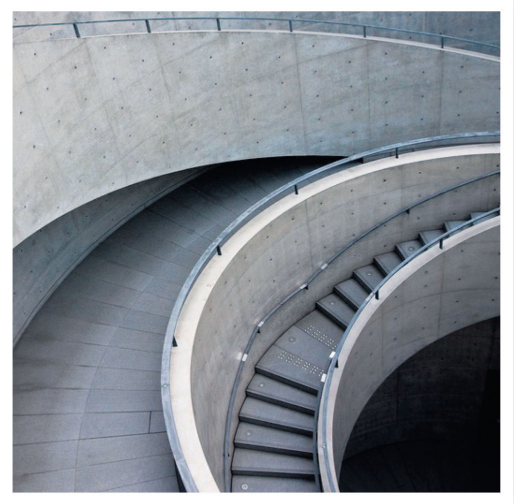
העתיד: מכלכלה מעורבת לפוליטיקה מעורבת

אם הסיכויים לקידום דמוקרטיה בסגנון מערבי בסין נראים קלושים ואם הקומוניזם העולמי נמצא בתהליך דעיכה מאז שלהי שנות השמונים של המאה הקודמת – מה תהיה דמותה הפוליטית של סין בעתיד? כפי שהסינים השכילו ליצור שילוב בין קפיטליזם לסוציאליזם, סביר שייווצר שילוב בין מסגרת "דמוקרטית", קליפה של מוסדות ותהליכים אשר יתהדרו בטרמינולוגיה דמוקרטית (כמו "בחירות", "מפלגות", "פרלמנט", "שלטון החוק", "אופוזיציה" וכיו"ב) לבין תהליכים אוטוריטריים ותכנים לא־דמוקרטיים או אפילו אנטי–דמוקרטיים אשר משקפים מסורות קונפוציאניות במקביל למורשת הקיסרית הסינית.

האם שילוב כזה אפשרי? בהחלט כן – והדוגמה היא סינגפור. למרות ההבדלים בגודל – ואולי בגללם – הצליחה סינגפור ליצור שילוב (שלדעת רבים הוא בעייתי) בין דמוקרטיה לאוטוריטריות, תוך כדי צמיחה כלכלית ויציבות פוליטית – בדיוק מטרתה של הנהגת סין. בהשוואה לסינגפור, אוכלוסיית סין גדולה פי 270 ושטחה גדול פי 13,700 בערך, ואף על פי כן סינגפור מהווה מודל.

צ'רצ'יל אמר פעם כי הדמוקרטיה היא שיטת הממשל הגרועה ביותר – פרט לכל האחרות. אלא שהדמוקרטיה היא שיטה אירופית שהתפתחה באירופה על רקע נסיבות אירופיות. ספק אם הוא הכיר את הציוויליזציה הפוליטית הסינית אשר הגיעה להישגים גדולים הרבה לפני המערב ואולי לא פחות. לכאורה אין שום סיבה שהסינים יאמצו לעצמם את המודל הדמוקרטי המערבי, וודאי שלא ניתן לכפות אותו עליהם. סביר שיבנו מודל שיישען על המסורת העשירה שלהם וימצאו את הפתרון שישקף את הנסיבות הייחודיות של סין. ✕

כנסיית האור, איבראקי, יפאן



מוזיאון היוגו לאמנות, קובה, יפאן

ביתן קרן לאנגן, נויס, גרמניה

טדאו אנדו

אני מתרגשת מאדריכלות יותר ממה שאני מתרגשת מאמנות פלסטית. אני יכולה לשוטט שעות באינטרנט בחיפוש אחר מבנים מעניינים ואחרי אדריכלים טובים. אדריכלות היא אמנות שלוקחת בחשבון כל כך הרבה מרכיבים ואילוצים. יש בזה המון פסיכולוגיה וסוציולוגיה ותרבות והיסטוריה ומגבלות של חומר וזמן ומקום. ואת כל המיש־מש הזה האדריכל מעביר דרך האמת האמנותית שלו. האדריכלות היפנית המודרנית אהובה עלי במיוחד. טדאו אנדו הוא דוגמה לכל מה שאני אוהבת: נקי, נזירי, מינימליסטי, מלא הוד, עם רגישות מופלאה לאנדרסטייטמנט. להגיד הרבה בכל כך מעט.

המשך בעמ' 86 ◄

הטבע המתדפק על דלתנו

צמחים ובעלי חיים מרבים להגר מארצות מוצאם כפליטים או מבקשי עבודה. יש המזדרזים להגדירם כפולשים ולהילחם בהם, מבלי לשאול מי בעצם "מקומי" לגיטימי ומיהו "פולש"

ד"ר אבי ארבל

מאינה. מהבולטים בין "העופות הפולשים" שהפכו לחלק בלתי נפרד מה"אוויפאונה" הישראלית

יותר ממיליון שנה חלפו מאז היגר האדם הזקוף (Homo erectus) מן השבר הסורי־אפריקאי שבמזרח אפריקה ועלה צפונה בדרכו לאכלס את אסיה ואת אירופה. בנדודיו חלף גם בישראל והותיר את עקבותיו בתל עובדיה שבבקעת הירדן. אתר זה נחשב יישוב האדם העתיק ביותר (שגילו כמיליון וחצי שנים) מחוץ לגבולות אפריקה.

האדם הזקוף החל את תהליך הגלובליזציה של עולמנו, מבלי שהכיר מושג זה והבין אותו. יורשו, האדם הנבון (Homo sapiens), המשיך באותו תהליך. בן מיננו זה הגיע לאמריקה, לאוסטרליה ולעוד איים רבים שאותם אכלס. כך פשט האדם הנבון בכל העולם והפך אותו לנחלתו. האדם הנודד והמהגר הביא עימו את תרבותו ואת כליו והתאים אותם לסביבתו החדשה. כך החלה אבולוציה תרבותית ונוצרו קבוצות האדם על דתותיהם, תרבויותיהם, שפותיהם ומנהגיהם השונים.

עם המהפכה החקלאית הביא עימו האדם את צמחי התרבות ותירבת צמחים חדשים כמעט בכל אזור שאליו הגיע. תופעה דומה התרחשה גם עם בעלי החיים, שחלקם היגרו עם האדם וחלקם תורבתו באזורים שאליהם היגר האדם. כך החלה הגלובליזציה של צמחי התרבות ושל חיות הבית והמשק.

אם נבחר בישראל כדוגמה לגלובליזציה הזו נמצא בארץ שזיפים ושסק שמוצאם ביפן; תפוז, אפרסמון וליצ'י שמוצאם בסין; אבוקדו, פפאיה ואנונה שמוצאם באמריקה התיכונה; תאנה, רימון וגפן שמוצאם באזורנו ועוד ועוד עצי פרי ונוי, פרחי תרבות וצמחי תבלין ורפואה שהגיעו אלינו מכל העולם והפכו לחלק מהתרבות שלנו ומסל המזונות שלנו.

התנועה הציונית, עם מפעל קיבוץ הגלויות, הביאה לישראל אנשים בעלי תרבויות שונות מכל רחבי העולם, וכאן, בכור ההיתוך, ניסו ליצור תרבות משותפת, אידיאולוגיה חדשה ואף מטבח ישראלי, שקלט מאכלים מכל הגלויות וניסה ליצור מהן סינתזה.

היום מתדפקים על שערינו אלפי פליטים, רובם מאפריקה, שחלקם אף הצליח לחדור לארץ ולהיקלט בה באורח חלקי. והנה, עם ישראל ברובו מתייצב שכם אחד נגד ההגירה הזו ומנסה למנוע אותה בכל דרך אפשרית. מדוע הגירה של יהודים לישראל היא לגיטימית ומבורכת והגירתם של תושבי דרפור ואריתראה אינה רצויה ואינה מקובלת על רוב תושבי ישראל?

ישראל הייתה מן המדינות הראשונות שחתמו על האמנה למתן מקלט לפליטים. למרות זאת, רק פליטים בודדים הוכרו ככאלה וקיבלו תעודות תושב. אלפים רבים (יש המדווחים על רבבות. לצערנו המספרים המדויקים אינם זמינים. לפי המספר הרשמי מדובר ברבבה של פליטים שנכנסו לישראל) אינם זוכים לזכויות, ורובם מועמדים לגירוש.

בהמשך אספר על צמחים ועל בעלי חיים פולשניים שחדרו לישראל והתנחלו בה. האם ניסינו למנוע את חדירתם ומה הנזק, או אולי דווקא התועלת, שהם גרמו לנו?

צמחים פולשניים

במהלך ההיסטוריה של ארץ ישראל הובאו אליה 4,000־5,000 מיני צמחים זרים. ביניהם נמצא עצי פרי ועצי נוי, צמחי מזון ותבלין, צמחי רפואה, צמחי נוי ואף עשבים רעים המזיקים לחקלאי וליבוליו.

כ־170 מיני צמחים מוגדרים כמזדמנים, מאוזרחים או פולשים לישראל. מתוכם רק 40־50 הם פולשים. רוב הצמחים הפולשים הובאו לארץ בידי האדם. בולטים ביניהם: אקליפטוס המקור והשיטה הכחלחלה, שני צמחים שהובאו מאוסטרליה. האקליפטוס שימש תחילה לייבוש ביצות ולאחר מכן ניטע כדי לעצור את דיונות החול במישור החוף ובמערב הנגב ולייצב אותן. השיטה הכחלחלה ניטעה גם היא לשם ייצוב החולות ומניעת סחיפתם. למטרה זו הובאה ממזרח ארצות הברית גם טיונית החולות, שנהפכה לאחד הצמחים היפים והבולטים בפריחתם באזורי הדיונות.

האם יש בעיה עם הצמחים הפולשים? בעולם החלו להילחם בחלק מן הפולשים לפני כ־50 שנה, אולם המלחמה הוקדשה למינים שגרמו נזק ניכר לאדם. שניים מן המאבקים הללו ימחישו את התופעה. השיח יפה הפרחים לנטנה ססגונית (Lantana camara), שמוצאו באמריקה התיכונה ובאיים הקריביים ובישראל הוא צמח נוי נפוץ, פלש ל־60 מדינות וכבש בהן שטחים. באוסטרליה הצליחה הלנטנה להשתלט על מיליוני (!) דונמים של בתי גידול, ולא נמצאה כל דרך לחסל את הפולשת. הלנטנה מייצרת אלפי ענבות שחורות ועסיסיות שמופצות על ידי ציפורים, הנמשכות לפירות העסיסיים והמתוקים שלה. זרעי הלנטנה אינם מתעכלים בקיבות הציפורים ומופצים למרחקים גדולים.

הצמח הפולש הנחשב היום כמזיק הגדול ביותר בישראל הוא השיטה הכחלחלה (Acacia saligna). זהו שיח, או עץ נמוך, שגובהו שני מטרים עד שישה מטרים, עליו ארוכים וגלדניים ומכונים פילודים. הוא ירוק־עד ופורח בחודשים מרס עד מאי באשכולות של קרקפות צהובות ובוהקות. בכל קרקפת יש 25־55 פרחים זעירים. לאחר ההאבקה מתפתחים הפירות: תרמילים חומים ארוכים ושטוחים ובתוכם זרעים שחורים ומבריקים. כל עץ נושא אלפי זרעים. מחקר שנערך בדרום אפריקה מצא שעצים בוגרים מייצרים 5,500 זרעים למטר רבוע בכל שנה. רוב הזרעים פורים ושומרים על חיוניותם במשך 50 שנה ויותר.

השיטה הכחלחלה הובאה לישראל בידי הבריטים כדי למנוע סחף קרקע ולייצב את הדיונות במישור החוף. קק"ל המשיכה לנטוע את העץ בשל התאמתו לבתי גידול קשים ובשל מהירות צמיחתו.

היום נפוצה השיטה הכחלחלה בכל החבל הים תיכוני של ישראל, פרט לגולן. התפשטות השיטה בחולות החוף גרמה לייצובם ולהעשרתם בחומר אורגני מחד גיסא, ומאידך גיסא להפחתת כמות מי הגשמים החודרים לאקוויפר החוף ולסילוק צמחי חוף אופייניים דוגמת סביון יפו. הללו נעלמו מן השטחים שכבשה.

מן החולות היציבים נדחקו גם בעלי חיים דוגמת גרביל החוף (מכרסם פסמופילי ארך־רגליים וזנב) ואת מקומו תפסו עכברים מצויים וחולדות. הצפע הישראלי, הטורף עכברים וחולדות, הגיע לחולות המיוצבים ודחק את רגליו של נחש חולות חרטומן, נחש לא ארסי שחי בחולות. הצפע הארסי מסוכן לאדם, והחולות המיוצבים דורשים התנהגות הולמת כדי לא להיפגע ממנו.

צמחים פולשים נוספים, שהבולטים שבהם הם טיונית החולות, אילנתה בלוטית, פרקינסוניה שיכנית, קיקיון מצוי, טבק השיח ואזדרכת מצויה, מצאו תנאים נוחים והתנחלו בארץ. הם דוחקים את רגליהם של צמחים מקומיים ומשנים את תנאי בית הגידול.

אקולוגים ובוטנאים רבים רואים בצמחים הפולשים אסון לצמחיית ישראל וסוברים שיש ללחום בהם ולהציל את הצמחים המקומיים מהתפשטותם. אחרים, וביניהם כותב המאמר, מקבלים בברכה את רוב הפולשים, שהפכו לחלק בולט בצמחיית ישראל. אנו סבורים שתוספת הצבע והגיוון שתורמים צמחים אלה משפרת ומייפה את צמחיית הארץ. בפולשים המזיקים, ובעיקר בעשבים הרעים שביניהם הגורמים נזק לחקלאים, יש להילחם כמו בעשבים הרעים המקומיים. אך מסע הצלב שהוכרז נגד כל הצמחים הפולשים אינו מקובל עלינו.

המחקר וההתייחסות למינים הפולשים בישראל החלו לפני כ־20 שנה, ובשנים האחרונות מקצים רשות שמורות הטבע, קק"ל והמשרד להגנת הסביבה כספים לסקרים ולמחקרים, אך הנושא רחוק מתודעת הציבור ואינו מעורר עניין רב גם בקרב קובעי המדיניות.

ניסיונות לדיכוי השיטה הכחלחלה ולחיסולה הצליחו עד כה רק באתרים מעטים, ולא בקנה מידה ארצי. גם המאמצים לחיסול השיטה הכחלחלה באוסטרליה ובדרום אפריקה, מאמצים שהושקע בהם כסף רב, לא צלחו בקנה מידה ארצי. אני עצמי השתתפתי ביום עבודה מפרך שכזה, במסגרת סדנה לשמירת טבע בדרום אפריקה. כששאלתי את מדריכי האם יש טעם למאמץ, לא קיבלתי תשובה משכנעת. בכל מקרה, לא נראה שהמאבק ישיג אצלם תוצאות עקב הצורך בהקצאת משאבים לבעיות אחרות.

גם בישראל יש בעיות בוערות יותר, והסיכוי לחסל את השיטה הכחלחלה ואת שאר הצמחים הפולשים קטן ביותר. האם לא כדאי להניף דגל לבן ולקבל את הצמחים הפולשים כאזרחים לגיטימיים של המדינה?

ארנבונים ונוטריות

האדם הנודד ברחבי העולם, המגלה יבשות ומיישב אותן, הוא בעל חיים פולש, אך בספרי ההיסטוריה פלישה זו נחשבת להישג ולא לנזק אקולוגי. האדם הפולש הכחיד מן העולם את הממותות, את

בעלי־חיים ש"פלשו".
דררה מצויה (ירוקה),
נוטריה וצבגון
אדום האוזן

אקולוגים ובוטנאים רבים רואים בצמחים הפולשים אסון לצמחיית ישראל. אחרים מקבלים בברכה את רוב הפולשים, וסבורים שתוספת הצבע והגיוון שתורמים צמחים אלה משפרת ומייפה את צמחיית הארץ

הקרנפים השעירים ואת דובי המערות. במאות השנים האחרונות התפרסמו ההכחדות של העוף דודו ממאוריציוס, של תחש סטלר מים ברינג, של עוף הפיל ממדגסקר ושל המואה הענקית מניו זילנד, ובעלי חיים רבים נוספים.

גם בישראל נכחדו מינים רבים: הדוב החום הסורי, הברדלס הנקוד, אייל הכרמל, היחמור הפרסי, הפרא הסורי והיען הסורי (שנכחדו שניהם מן העולם כליל) ועוד מינים רבים של עופות, יונקים וזוחלים. מינים רבים של בעלי חיים וצמחים שרויים היום בסכנת הכחדה, ויש להשקיע מאמצים גדולים ותקציבים ניכרים כדי להצילם מסכנה זו. בעלי חיים אחדים, וביניהם אייל הכרמל, היחמור הפרסי, הראם הלבן, הפרא והעיטם לבן הזנב, הוחזרו לטבע וחיים היום בשמורות החי־בר בערבה ובכרמל וגם בנופי ארצנו.

האדם הפולש הביא עמו בעלי חיים רבים. נזכיר רק את הבולטים ביותר ביניהם. הבקר והכבשים, שהם חלק מרכזי בכלכלה ובתרבות, הובאו לאמריקות ולאוסטרליה בידי האדם. כמוהם גם שאר חיות ועופות הבית והמשק. החיות שביית האדם ביבשות אלה הן הלאמה, האלפקה והתרנגול ההודי שבויתו באמריקה. באוסטרליה לא ביית האדם בעלי חיים, פרט לדינגו, שבוית באופן חלקי, וגם הוא פלש אליה עם האדם.

כמה מן הפולשים הללו יצאו מהבית ומהמשק ועברו לחיות בטבע. באוסטרליה, שמעטים בה הטורפים, התרבו בשנים האחרונות הגמלים והתאו ההודי והם גורמים נזק סביבתי ניכר ומתחרים בפאונה המקומית. הסוס הרמכי (זה שמו המלא של הסוס), שהוא חלק כה מרכזי בתרבות הבוקר האמריקאי, התפרא והתפתח לתת–מין של סוס פרא הנקרא מוסטנג. המוסטנג ניצוד כדי לשפר איכויות גנטיות של סוסי התרבות, והיום הוא מוגן ואסור לצוד אותו. גם באוסטרליה שוחררו לטבע סוסים זקנים שחסו על חייהם ויצרו שם אוכלוסייה ניכרת של סוסי בר הנקראים ברומבי וחיים ומתרבים בטבע.

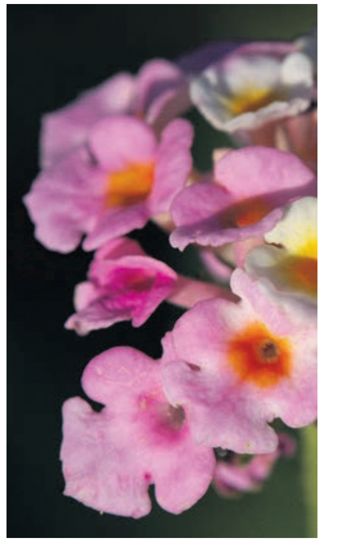
דוגמה נוספת מאוסטרליה היא של פולש מזיק לאדם. הארנבון החופר (Oryctolagus cuniculus) הובא ליבשת בידי הבריטים שיישבו את אוסטרליה. הם הביאו עימם מאירופה מינים אחדים של בעלי חיים וביניהם ארנבונים (Rabbits), שועלים ואיילים שיזכירו להם את הבית. הארנבונים התנחלו בטריטוריה החדשה, ובאין טורפים מקומיים שיווסתו את אוכלוסייתם התרבו ומילאו את הארץ. הנזק שגרמו הארנבונים למרעה היה אדיר, והניסיונות להילחם בהם לא צלחו.

הארנבונים התחרו בבקר ובעיקר בכבשים, עד שהמדענים מצאו פתרון, אכזרי לכאורה, אך הוא פתר את בעיית הארנבונים והנזק שגרמו לחקלאי אוסטרליה. רק הדבקת הארנבונים בנגיף הקטלני מיקסומטוזיס הצליחה לחסל את רוב אוכלוסייתם. מאז חזרו הארנבונים להתרבות, ובמשך 50 השנה האחרונות שורר באוסטרליה שיווי משקל אקולוגי, השומר על אוכלוסיות קטנות של ארנבוני בר שאינם גורמים נזק ניכר לאדם.

בישראל חיים ארנבונים רבים. מגדלים אותם כחיות מחמד, אך גם בעבור בשרם ופרוותם. הארנבונים הם חיות מחקר חשובות ומבצעים בהם ניסויים מדעיים. הם מוכרים בציבור הרחב בשם השגוי "שפני ניסיונות", שאינו ניתן להכחדה.

הארנבונים לא הפכו מעולם לפולשים בישראל. ארנבון שנמלט מכלובו יידרס למוות או ייטרף בידי כלבים או חתולים בעיר, או בידי טורפי בר דוגמת תנים, שועלים, אוחים וחתולי בר.

יונק הדומה בגודלו לארנבון החופר הוא הנוטריה השחיינית (Myocastor coypus), מכרסם גדול הנראה כמו חולדה גדולה ומגושמת. אורך גופה של הנוטריה כ־50 סנטימטר ומשקלה ארבעה עד שבעה קילו. צבעה חום־אפרפר והיא מיטיבה לשחות. מוצאה של הנוטריה באמריקה הדרומית, משם הובאה ב־1950 לשם גידול בזכות פרוותה המשובחת. נוטריות שברחו מחוות הגידול התפראו והן חיות היום בטבע באירופה, בצפון אסיה, במזרח אפריקה ובאמריקה הצפונית. הנוטריה שהתפראה שכיחה בישראל בחבל הים התיכוני. היא חיה במקווי מים מתוקים: אגמים, נהרות, בריכות מדגה ובשדות הסמוכים להם. הנוטריה מזיקה לשדות החקלאיים וניצודה בשל כך ובשל בשרה ופרוותה. ❮



צמחים ש"פלשו".
לנטנה ססגונית (בוורוד),
שיטה כחלחלה (צהוב),
וקיקיון מצוי (אדמדם)

הנוטריה הפכה לחלק מעולם החי של ישראל והיא הנציגה המובהקת של עולם החי הניאוטרופי בישראל – מרבים לפגוש בה בשמורות החולה והירקון ובבריכות מדגה ברחבי הארץ. בפארק הירקון יש נוטריות שבאות לאכול לחם וירקות מידי האדם. פגישה בנוטריה מעוררת התרגשות, ואנשים מרבים לצלם אותה.

תועלתה הכלכלית של הנוטריה, כלומר הפרוות שקיוו להפיק ממנה, נכזבה, והיום היא אפילו מזיקה לשדות החקלאיים, חופרת מחילות בבריכות הדגים וגורמת לפגעי ניקוז ולבריחת מים. אך התרגשותם של המטיילים הישראלים בעת פגישה עימה בשמורות השונות (החולה, פארק הירקון) מראה שעברה את כור ההיתוך הציוני, והיום היא אזרחית של כבוד במדינה.

דררות ומאינות

בין הפולשים לישראל מצויים גם 18 מיני עופות. לאילת ולסביבתה פלש העורב ההודי, המציק לעופות אחרים ומהווה מטרד גם לאדם. במישור החוף אפשר לפגוש את הזרזיר הבורמי ואת התוכי הנזירי. הראשון מקורו במיאנמר (בורמה), השני באמריקה הדרומית, והוא פולש נפוץ גם באירופה, בעיקר בספרד ובאיטליה.

הבולטים בין העופות הפולשים הם המאינה המצויה והדררה המצויה, שני עופות מרשימים שמוצאם בהודו ובארצות השכנות לה. שני העופות הללו התנחלו ברוב חלקי הארץ והם חיים בה ברבבותיהם וכבר הפכו לחלק בלתי נפרד מן האוויפאונה (עולם העופות) הישראלית.

הדֶּרָרָה המצויה (Psittacula krameri) היא תוכי ירוק וארוך זנב שאורך גופו כ־40 סנטימטר וזנבו מגיע ל־25 סנטימטר נוספים, והוא בעל מקור תוכי טיפוסי, שחלקו העליון אדום. לזכר יש סנטר שחור וטבעת אדומה על הצוואר, שנעדרים אצל הנקבה. לשני הזוויגים טבעת אדומה סביב העין המוסיפה לפרופיל שלהם לוויית חן. פרט לצבעוניותה מצטיינת הדררה גם בקול עז, וכאשר בבוקר עפות להקות דררות בדרכן לסעודת פירות נשמעות צווחותיהן למרחק רב.

הדררות הראשונות נצפו בישראל בראשית שנות השישים של המאה הקודמת, כלומר הן הגיעו לכאן לפני כיובל שנים. מקורן של הדררות הראשונות, שנצפו ליד מקווה ישראל, בכמה פרטים שנמלטו מן השבי והצליחו להשתלב בחיים בארץ, בסביבה העירונית וגם בסביבה הכפרית. כלומר, הדררה נחשבת לפליטת תרבות שנהפכה לאזרחית נפוצה בישראל.

המאינה המצויה, המכונה גם מאינה הודית (Acridotheres tristis), היא ציפור שיר בגודל בינוני, כגודל שחרור וזרזיר, שאורכה מגיע עד 25 סנטימטר. היא בת למשפחת הזרזיריים והיא אוכלת־כול. צבעה חום־שחרחר וראשה שחור. מקורה ורגליה צהובים, ופס עור חשוף וצהוב משתרע ממקורה עד אחרי עיניה. בעת תעופה מתבלט בכנפה כתם לבן, וגם החלק האחורי של בטנה לבן. כשהיא מעופפת קל מאוד לזהותה בשל צבעיה וגם בשל קולה העז והמגוון, הנעים לאוזן. המאינה פלשה גם לחלקים באירופה, והיא דוגרת ברוסיה ובספרד.

בישראל יש בעיות בוערות יותר, והסיכוי לחסל את השיטה הכחלחלה ואת שאר הצמחים הפולשים קטן ביותר. האם לא כדאי להניף דגל לבן ולקבל את הצמחים הפולשים כאזרחים לגיטימיים של המדינה?

המאינות הראשונות נצפו ברמת גן בשלהי שנות התשעים של המאה ה־20. החוקרים סבורים שגם הן פליטות תרבות, וכי הראשונות נמלטו מפארק ה"ספארי" שבפארק הלאומי של תל אביב. מאז נפוצו המאינות בכל רחבי הארץ, בעיר ובכפר. במקום מגוריי בשיכון הוותיקים שברמת גן, הקרוב לפארק הלאומי, המאינות הן הציפורים המצויות ביותר והן דוחקות את רגליהם של הדרורים, הבולבולים, השחרורים וציפורי שיר אחרות, ובקיצור השתלטו על השיכון ועל סביבותיו. גם דררות מצויות בשכונה במספרים גדולים, וניתן לראותן ולשמוען במשך כל שעות היום.

אז מה הבעיה? אקולוגים ושומרי טבע רואים בהשתלטות המאינות והדררות, כמו בהשתלטות הצמחים הפולשים, סכנה חמורה לעולם החי הישראלי. הן גורמות נזקים לשדות ולמטעים, ובנוסף לכך דוחקות את רגלי הציפורים המקומיות, ויש חשש שהבולבולים, הירגזים, החוחיות, השחרורים, הירקונים ועוד מינים של ציפורי שיר, שמספרן פחת באורח מדאיג בשדותינו, ייעלמו כליל מן הנוף.

העורב ההודי (Corvus splendens) הוא עורב בינוני (בין קאק לעורב אפור) שמוצאו בהודו. הוא שוכן ליד משכנות האדם. בעת ביקורי בדרום הודו ובסרי לנקה ראיתי אלפי עורבים הודיים שאינם חוששים מן האדם ופעילים ליד דוכני הדגים והבשר ובנמלי הדייגים.

העורב ההודי הגיע לאילת לפני כמה עשרות שנים על גבי ספינות, או שהוכנס בידי אדם. העורב הזה, שהוא עוף חברותי, הקים מושבות קינון אחדות באילת ובסביבתה. כאוכל־כול תקף מינים שונים של ציפורים וקיניהן, וסילקם מהשטח. לפני שנים אחדות, כשהחל להציק לתושבי אילת ואף לתקוף אותם, נקטו רשות שמורות הטבע ועיריית אילת באמצעים חריפים נגדו ותקפו את המושבות שבהן קינן. כתוצאה מכך פחתה אוכלוסיית העורב ההודי, והפרטים המעטים שנותרו חוששים מהאדם ומניחים לו לנפשו.

בעקבה הסמוכה חיים אלפי עורבים הודיים, תוך שהם גורמים נזק לאדם ולסביבה. שלטונות ירדן אינם מצליחים לטפל בבעיה, והם פנו לעיריית אילת ולרשות הטבע והגנים שיעזרו להם בפתרונה.

גמבוזיות וצבגונים

12 מינים של דגים פולשים חיים בכנרת, ורובם הוכנסו לאגם בידי האדם. כמה מינים, דוגמת הכסיף והקיפונים, מזהמים את מי האגם.

הדג החשוב והמעניין ביותר בין הדגים הפולשים הוא הגמבוזיה (Gambusia affinis), דג קטן, כסוף־אפרפר, שאורכו עד שבעה סנטימטרים. הגמבוזיה ניזונה מחסרי חוליות קטנים, מדגיגים ומזחלי יתושים, וכך היא מועילה לאדם. הגמבוזיה הוכנסה לארץ מאמריקה בשנות העשרים של המאה הקודמת בידי הבריטים, כדי שתסייע בלחימה נגד יתוש הקדחת. היום נפוצה הגמבוזיה באסיה, באירופה, באמריקה ובאוסטרליה. חשיבותה בישראל פחתה בשנים האחרונות, אך היא בעל חיים שמעניין את הזואולוגים ואת האקולוגים.

לפני כ־150 שנה, בשנת 1869, נחפרה תעלת סואץ וחיברה את ים סוף לים התיכון. כתוצאה מחיבור זה עברו כ־60 מיני דגים (ועוד מינים רבים של חסרי חוליות) לים התיכון. רבים מן הפולשים דחקו את רגליהם של מיני דגים מקומיים. אחדים מהם, דוגמת הסיכנים (Siganus), נהפכו אצלנו לדגי מאכל חשובים.

אפשר כמובן להמשיך ולפרט בנושא "ההגירה הלספסית" (ע"ש פרדיננד דה לספס, חופר התעלה), אך יקצר המצע.

בין הזוחלים והדו־חיים של ישראל אין כמעט מינים פולשים. מין אחד של צב, הצבגון אדום האוזן (Trachemys scripta elegans), שמוצאו בדרום־מזרח ארצות הברית ובמקסיקו, הובא לארץ כחיית מחמד לגידול באקווריונים. צבים אחדים ברחו מהשבי והם חיים במקווי מים מתוקים. הצבגון פלש למקווי מים רבים ברחבי העולם, ובקפריסין גרם להכחדה של צבי הביצות המקומיים.

מוכרים גם מאות מינים של חרקים פולשים, אך לא נדון בהם במאמר זה.

הגירה אנושית

לאורך כל ההיסטוריה האנושית התקיימה הגירה מאסיבית מארצות שבהן שררו תנאי מחיה קשים לארצות שבהן היה סיכוי לחיים טובים יותר. כך נדדו בני ישראל למצרים "לשבור שבר" ואחר כך לארץ כנען. מיליוני מהגרים נדדו מאירופה ומאפריקה לאמריקה ולאוסטרליה, ושם הקימו חברות מהגרים מגוונות ומפותחות. חלק מן המהגרים גורשו מארצותיהם, דוגמת היהודים שגורשו לבבל בידי נבוכדנצר, גרמנים שגורשו מפולין בעקבות מלחמת העולם השנייה ועוד. אחרים, בעיקר באפריקה, ניצודו ונמכרו כעבדים שהובאו לארצות ערב ולאמריקה (בערבית נקרא האדם השחור "עבד", כלומר עבד). גם הצורך בעובדים באמריקה ובאירופה לפני מלחמת העולם השנייה ואחריה הביא להגירת מיליונים. חלק מהמהגרים הללו הגיעו לבריטניה ולצרפת מן המושבות שלהן בעבר – הודו, פקיסטן, אלג'יר, מרוקו, תוניסיה ועוד.

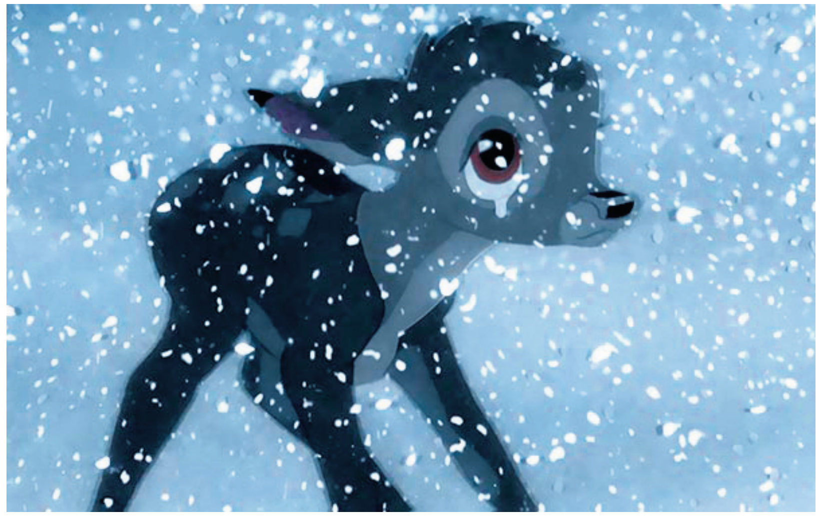
במהלך השנים התקיימו נישואין בין העדות והגזעים השונים וכך נולדו המולאטים (צאצאי לבנים ושחורים) המסטיזוס (צאצאי לבנים ואינדיאנים) והאירואסיאתים (צאצאי לבנים ומונגולואידים, תושבי סין, יפן, קוריאה ווייטנאם).

העולם של היום מגוון מאוד מבחינה תרבותית וגם מבחינת עירוב גזעי האדם. היתרונות הכלכליים של המדינות המפותחות באמריקה ובאירופה והידלדלות אוכלוסייתן הפכו אותן לאבן שואבת למיליוני מהגרים מכל רחבי העולם, בעיקר מאפריקה.

פלישת המהגרים והעובדים הזרים היא תופעה עולמית, ממש כמו פלישת המאינות והדררות. וכשם שלא מצליחים לעצור את אלה, סביר להניח שלא יצליחו לעצור גם את אלה, וטוב שכך!

לקריאה נוספת:

1. אלון ע. (עורך) (1983־1990) החי והצומח של ארץ ישראל, אנציקלופדיה.
2. ארבל, א. (2008) לקסיקון מפה – היונקים, המדריך השלם ליונקי ארץ ישראל. הוצ' מפה.
3. ארבל א. ודנין א. (1998) אטלס כרטא – החי והצומח של ארץ ישראל. הוצ' כרטא.
4. ארבל א. ודנין א. (2002) לקסיקון כרטא – החי והצומח של ארץ ישראל. הוצ' כרטא.
5. דופור־דרור ז.מ. (2010) הצמחים הפולשים בישראל. הוצ' רשות שמורות הטבע.
6. מולארני ק. סוונסון ל. וחובריהם. (עורך ארבל א.) (2003) לקסיקון מפה – הציפורים. המדריך השלם לציפורי אירופה וישראל. הוצ' מפה.
7. שמידע א. (2005) לקסיקון מפה – צמחי ישראל. המדריך השלם לצמחים ופרחים בארץ ישראל. הוצ' מפה.



© Walt Disney / ידיעות ספרים

במבי

בגלל המשפט: "אמא שלך לא תחזור עוד לעולם", שאומר אבא של במבי לבמבי, אנשים הרי כבר ישבו שבעה. יכולת ההאנשה של וולט דיסני מדהימה. לצייר חיות זה אולי לא מאוד קשה, אבל לצייר חיות כך שייהפכו לאנשים זה מאוד מאוד מסובך. כל כך הרבה אופי נסוך בהן. גם התנועה – איך הן הולכות, איך הן זזות, איך הן עומדות – מבטאת אופי. תנוחת גוף, זה מאוד חשוב. זה משהו שמאיירים לומדים להשתלט עליו רק אחרי שהם יודעים כבר לרשום, וזה קריטי להבנת דמות. כמאיירת אני חוזרת שוב ושוב אל וולט דיסני, כמו שחוזרים אל חוברת הפעלה.

שטיח פרסי

כל חייה הייתה אמי במרדף אחר השטיח הפרסי המושלם. תמיד היא הייתה באמצע תהליך: או שהיא בדיוק קנתה אחד, או שהיא בדיוק מכרה אחד, או שלקחו לה לניקוי או לצביעה מחדש. היא נורא אהבה עתיקות ושוקי פשפשים, אבל נדמה לי ששטיחים היא אהבה יותר מכול. על פי דוגמת האריגה היא הייתה יכולה לומר מאיזו עיר בפרס הגיע השטיח ובאיזו שנה הוא נארג. "הגיע משהו חדש מאיספהן?", הייתה שואלת הקיבוצניקית לשעבר ממחנות עולים את המוכר בשוק הפשפשים, "תראה לי". כיוון שזחלתי על שטיחים פרסיים, למדתי ללכת על שטיחים פרסיים, עשיתי לה פירורים על שטיחים פרסיים וגם קיבלתי שטיחים פרסיים כשעזבתי את הבית – אני לא יכולה יותר לסבול שטיחים. לא פרסיים ולא בכלל. זו כנראה השפעה הפוכה. אני אלרגית לעיטורים, לקישוטים, לסלסולים ולאבק. רק כשאני מדברת בטלפון, מבלי משים, אני תמיד משרבטת שטיחים פרסיים.

לנפץ את אובססיית אופנהיימר

ביוגרפיה חדשה של ריי מונק על "אבי הפצצה"

ד"ר אלי שאלתיאל

Ray Monk, Inside the Centre: The Life of J. Robert Oppenheimer / Jonathan Cape, 2012, pp. 818, £ 30.00

ריי מונק הוא פילוסוף וביוגרף בעל מוניטין. שתי ביוגרפיות שכתב – על גדולי הפילוסופים במאה ה־20, לודוויג ויטגנשטיין וברטרנד ראסל – זכו לשבחים רבים ואף עיטרו את מחברם בפרסים. הקורא בהן התרשם מיכולתו של מונק להנגיש סוגיות פילוסופיות סבוכות. הבחנותיו הפסיכולוגיות והערכותיו השיפוטיות, הבוטות לעתים, חברו להבנה מעמיקה של הסוגיות המופשטות שהעסיקו את הפילוסופים במחצית הראשונה של המאה ה־20.

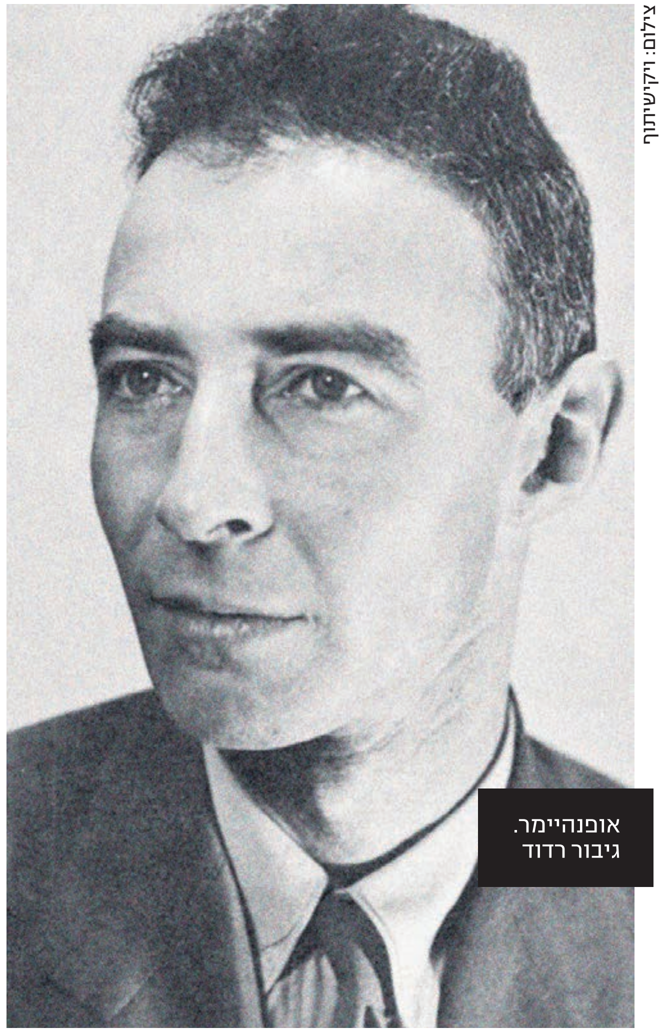
קוראיו הרבים התרשמו מיכולות השיפוט שלו ומן היושרה האינטלקטואלית שאינה נרתעת מניפוץ אמונות מקובלות ואפילו משמם של מיני קדושים. ברטרנד ראסל שלו הוא ללא ספק יצור לא חביב כלל, מעמיד פנים ואנוכי עד כדי יכולת להרוס עד היסוד כל מה ומי שניצבים בדרכו.

מקריאת ההקדמה לביוגרפיה של ג'יי רוברט אופנהיימר יוצא הקורא בתחושה מטרידה, שריי מונק הוא קורבן של "תאוות עבודה" לא פשוטה. לאחר שהחל במלאכה ושקע בה, יצאה לאור ביוגרפיה אחרת של אופנהיימר (2005), שהכול הללו ושיבחו. קאי בירד ומרווין ג'יי שרווין, ששיתפו פעולה בכתיבת הביוגרפיה, שיצאה לאור גם בעברית תחת הכותרת "פרומתיאוס אמריקאי: הניצחון והטרגדיה של אבי פצצת האטום" (הקיבוץ המאוחד, 2012), זכו בפרס פוליצר היוקרתי על ספרם, ולרגע נדמה היה למסוקרני חידת אופנהיימר כי הכול כבר סופר ונחתם.

ריי מונק מנסה להסביר מדוע גמר אומר להמשיך במלאכתו, וטוען כי ספרם של בירד ושרווין אינו מייתר כלל את חיבורו שלו. הביוגרפים של אופנהיימר עד כה, טוען מונק, התמקדו בסיפור פצצת האטום ובמלחמותיו של "אבי הפצצה" במשמיציו וברודפיו אחרי מלחמת העולם על רקע קשריו עם ארגוני חזית של המפלגה הקומוניסטית בשנות השלושים.

אני, מצהיר ריי מונק על עצמו, אינני שוכח כי ג'יי רוברט אופנהיימר, "אופי" בפי ידידיו ומכריו, היה בעיקרו של דבר מדען, פיזיקאי, ולכן ביוגרפיה שלו שתייחד אך עניין מועט למפעלו המדעי לא תהיה של־מה ומלאה. כשאחרים נתלו בתולדות חייו של אופנהיימר כדי לספר את פרשת לידתה של פצצת האטום או את ימי ציד המכשפות של החשודים באדמומיות בימי המלחמה הקרה לאחר מלחמת העולם השנייה, ריי מונק בוחר למקד את גיבורו בהקשר המדעי דווקא.

גיבורי המשנה של בירד ושרווין הם הסנטור מוויסקונסין ג'וזף מקארתי וראש האף.בי.איי ג'יי אדגר הובר. גיבוריו של מונק הם איזידור רבי, אדוארד טלר, אלברט איינשטיין, ובעיקר האלקטרו־נים, הניוטרונים ושאר החלקיקים. ואכן, מהבחינה הזאת, כמו כל ביוגרפיה הנצמדת להנחה שביוגרפיה טובה וראויה אינה מסתפקת בתיאור עלילותיו של הגיבור אלא מציגה אותו על רקע דורו ותקו־פתו, בבחינת "האיש וזמנו", ספרו של ריי מונק הוא במידה רבה גם סיפורה של ההתפתחות המדעית במחצית הראשונה של המאה ה־20.



צילום: ויקישיתוף

אופנהיימר. גיבור רדוד

הוא היה יהיר, מתנשא ובעיקר מעמיד פנים וסנוב תרבותי, ומונק אינו מוותר על שום הזדמנות להציג לראווה את הנפיחות האופנהיימרית

נדמה כי הכרעתו של מונק להרחיב בהיבטים המדעיים של מפעלו של אופנהיימר נסמכת על הצלחתה של הביוגרפיה של וולטר אייזקסון על אלברט איינשטיין. אייזקסון אינו מדען גרעין ואינו מהסס להודות כי נדרש לסיועו של פיזיקאי כדי לכתוב את הפרקים הפיזיקליים בביוגרפיה של איינשטיין. וגם הוא טוען, ובצדק, כי ביוגרף שאינו מתמקד בהישגיו המדעיים של גיבורו, מתעלם ממוקד האישיות ומפרשת חייו.

לא מעט מקוראיה הרבים של הביוגרפיה של איינשטיין לא היססו להודות כי אכן נהנו מאוד מקריאת הספר ומההתוודעות לחייו של המדען הדגול, אך כל אימת שהגיעו לפרקים שהרחיבו בעניינים המדעיים, פסחו עליהם. אני חושש מאוד שגורל דומה יהיה מנת חלקה של הביוגרפיה של מונק. הוא מתאמץ מאוד לפשט ולהסביר, אך שוקע בפרקים ארוכים על נבכי הגרעין והכוחות הפועלים בו, עד שקורא שאינו נמנה עם יודעי סוד החלקיקים מאבד את הריכוז ונפנה להמשך גלגוליו של סיפור הפצצה.

ועוד עניין מבדיל בין איינשטיין לגיבורו של מונק. אופנהיימר, וגם הביוגרף שלו מודה בכך, לא נמנה עם גדולי המדענים של תקופתו. פרסומיו ומחקריו אינם נזכרים ברשימת התגליות המרעישות של מדע הפיזיקה. עמיתיו, שותפיו ורבים מתלמידיו זכו בהכרה כללית, ורבים אף בפרס הגדול מכולם – נובל. אך אופנהיימר מעולם לא נכלל ברשימת המועמדים לפרס. ככל שנחקור ונהפוך בסיפור חייו לא יהיה מנוס מן המסקנה כי לשמו הגדול זכה בזכות עמידתו בראש "פרויקט מנהטן", הלא הוא מפעל פיתוחה של פצצת האטום בלוס אלמוס שבניו מקסיקו. "אופי" היה המארגן הגדול, האיש שהצליח לרכז סביבו מאות ואלפי מהנדסים ופועלים שעלה בידיהם להוציא אל הפועל את המשימה שהפקיד בידיהם נשיא ארצות הברית, פרנקלין דלנו רוזוולט, לייצר את הנשק הנורא מכול, הנשק שובר השוויון שיחרוץ את גורלה של מלחמת העולם השנייה.

כשנהגה הרעיון לראשונה והחלו במלאכה, האויב המיועד, המטרה לפצצה, הייתה גרמניה – בין השאר משום שפשטה הסברה חסרת הבסיס שהנאצים מתקדמים מאוד בתהליך הפקתה של פצצה. כשהודיע אופנהיימר לשולחיו כי המלאכה צלחה וכי לרשות ארצות הברית פצצת אטום, גרמניה כבר הובסה ונכנעה. יפן, המסרבת להיכנע ומאיימת להטביע את בעלות הברית בים של דם ואימה, הפכה למטרה היחידה. הירושימה ונגסאקי היו מאז לשמות מעוררי חלחלה, שכל הנזכר בהם אינו פטור מהתחבטות במשמעות מפעלם של אופנהיימר ועמיתיו.

מונק אינו יכול, כמובן, להתעלם מן הדרמה הגדולה של הסרת

הסיווג הביטחוני מאופנהיימר בתקופת המלחמה הקרה. גם הוא מתאר את פרטי המעקב אחריו, את ההתחברות של ציידי האדומים בעידן האימה מפני התגברותה של ברית המועצות השטנית. אך הוא משתדל לשלב את הפרקים העסיסיים האלה בין הדיונים הארוכים על החידושים המדעיים בתחום חקר הגרעין. דומה כי ספרו אינו מוסיף ולו פרט אחד שלא נודע עד כה לחשיפת מעורבותו של אופנהיימר בפעילות רדיקלית שמאלית בשלהי שנות השלושים. גם הוא מתקשה להסביר ולנמק את מסכת ההסתבכויות, חצאי האמיתות וההסתרות שאופנהיימר נדרש להן בניסיונותיו הנואשים להוכיח לכל מבקשי ראשו כי הדאגה לגורל ארצו עמדה מאז ומעולם בראש דאגותיו. ג'יי אדגר הובר, ראש האף.בי.איי, ואנשיו התקשו להאמין כי התנגדותו של אבי פצצת האטום לייצור פצצת המימן אינה נובעת מאהדת יתר לברית המועצות.

בדיון הנרחב על התשתית המדעית ועל ההתפתחויות בחקר הגרעין מצליח מונק להבהיר כי אחרי ככלות הכול, בשעה שניגשו אופנהיימר ועמיתיו לבנות את הפצצה, מרבית התשתית התיאורטית לרעיון האנרגיה הגרעינית כבר הייתה ידועה וברורה. המדענים בלוס אלמוס התמקדו בעיקר בהיבטים הטכניים המורכבים לניצול הרעיון, שלא היה להם ספק בנכונות הנחותיו ומשמעויותיו המדעיות. בעיקרו של דבר, כשפנה אלברט איינשטיין ב־1939, בשמו ובשם כמה מעמיתיו חוקרי הגרעין, והיפנה את שימת לבו של רוזוולט להיבטים הצבאיים של האנרגיה הגרעינית, סודות העניין כבר היו גלויים וברורים לפניהם, ולא היה להם ספק כי הסודות הללו כבר גלויים וברורים גם למדענים ששירתו את המשטר הנאצי בגרמניה. מונק מדגיש כי המרגלים שפעלו למען ברית המועצות והעבירו אליה סודות לא העבירו את הצפונות של מחקרים פיזיקליים, אלא את תוצאות הניסויים שהיו מעשיים וטכניים בעיקר, וכל תכליתם הייתה לברר מה הדרך הטובה ביותר לנצל את האנרגיה שבגרעין ולהפכה לנשק אימתני ומכריע.

הפרקים המרתקים ביותר בספר הם אלה שבהם בוחן מונק היבטים באישיותו של אופנהיימר. חבריו לפעילות הרדיקלית בשנות השלושים לא סלחו לו על בגידתו, על העובדה שלא היסס להסגיר שותפים לדרך. אך אופנהיימר גם לא היה אהוד על עמיתיו הפיזיקאים, ורק מעטים יצאו בלב שלם להגן עליו ועל שמו הטוב. גם הנמרץ ביותר במגיניו, הפיזיקאי איזידור רבי, לא הסתיר את הצדדים האפלים והדוחים באישיותו של אופנהיימר. הוא היה יהיר, מתנשא, ובעיקר מעמיד פנים וסנוב תרבותי.

> מונק בוחר למקד את גיבורו בהקשר המדעי דווקא. אבל אופנהיימר, וגם הביוגרף שלו מודה בכך, לא נמנה עם גדולי המדענים של תקופתו

מונק אינו מוותר על שום הזדמנות להציג לראווה את הנפיחות האופנהיימרית. הוא טרח ומצא בארכיונו של גיבורו מכתב ששלח אל עורכיה של תוכנית רדיו שביקשו ממנו לציין כותרות של עשרה ספרים שהשפיעו עליו השפעה גדולה. אופנהיימר אינו מהסס ופורש את הרשימה ובה ספרים בשש שפות שונות. הוא לא יזניח הזדמנות להפגין כלפי חוץ עד כמה הוא משכיל ורחב דעת, ומונק לא יפספס הזדמנות ללעוג לגיבורו הרדוד. כל ימיו התהדר בחיבתו לשירה, לפילוסופיה ולשאר עיסוקים שפיזיקאים מן השורה אינם מפגינים בהם בקיאות בדרך כלל. ומונק מנתח את ההתהדרויות התרבותיות הללו, חושף את ריקנותן ואת המלל הסתום, חסר הפשר וגדוש הנביבות שאפיינו אותו.

בעקבות עדותו של פרופ' רבי פותח מונק את ספרו בניסיון להתחקות אחר סוגיית הזהות העצמית של גיבורו. הוא טרח שוב ושוב להתנער מכל סממן של יהדות, ואף שלא התכחש לדתו ולמוצאו, דחה בתוקף כל ניסיון לייחס משמעות כלשהי למוצאו בקהילת יהודי גרמניה. גם רבי התנער מכל ממד של דת באישיותו, אך הדגיש את יהדותו ואת מוצא משפחתו במזרח אירופה. לא היה לו ספק כי ההתכחשות למוצאו היהודי דחפה את אופנהיימר לחיפושים נואשים אחר הגדרת זהות שמעולם לא באו על סיפוקם.

גם לאחר קריאת ספרו של מונק דומה כי אין מנוס מן המסקנה שאלמלא מעורבותו של אופנהיימר בייצור הפצצה שכה שינתה את חיינו, ספק רב אם ביוגרפים וחוקרים היו נדרשים שוב ושוב לפרשת חייו.

מונק, יש לקוות, מנפץ אחת ולתמיד את "אובססיית אופנהיימר", ובמעשה זה ייתכן שהוא סולל את הדרך לחקירה מעמיקה ומרחיבת דעת יותר של ההיבטים הארוכים בדרך אל פצצת האטום, מעבר לסוגיות המדעיות הכרוכות בעניין. המרדף אחר אופנהיימר "האדום" הוא פרק מרתק בתולדות התגבשותה של ארצות הברית לאחר מלחמת העולם השנייה והמלחמה הקרה. כיצד שינתה הפטריה הנוראה מעל הירושימה את תולדות המאה ה־20 – זו, למשל, שאלה שראוי לתת עליה את הדעת לצד שאלות רבות אחרות.